

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

## **Курсовое проектирование по технологииковки и горячей объемной штамповки**

Электронные методические указания

САМАРА  
2012

Составители: **Каргин Владимир Родионович,**  
**Каргин Борис Владимирович**

**Курсовое проектирование по технологииковки и горячей объемной штамповки** [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. В. Р. Каргин., Б. В. Каргин. - Электрон. текстовые дан. (5,41 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В пособии приведены методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Технологические процессы кузнечно-штамповочного производства», изучаемой студентами инженерно-технологического факультета по направлению подготовки бакалавров 150400.62 «Металлургия», профиль «Обработка металлов давлением»

в 7 семестре.

Разработано на кафедре ОМД.

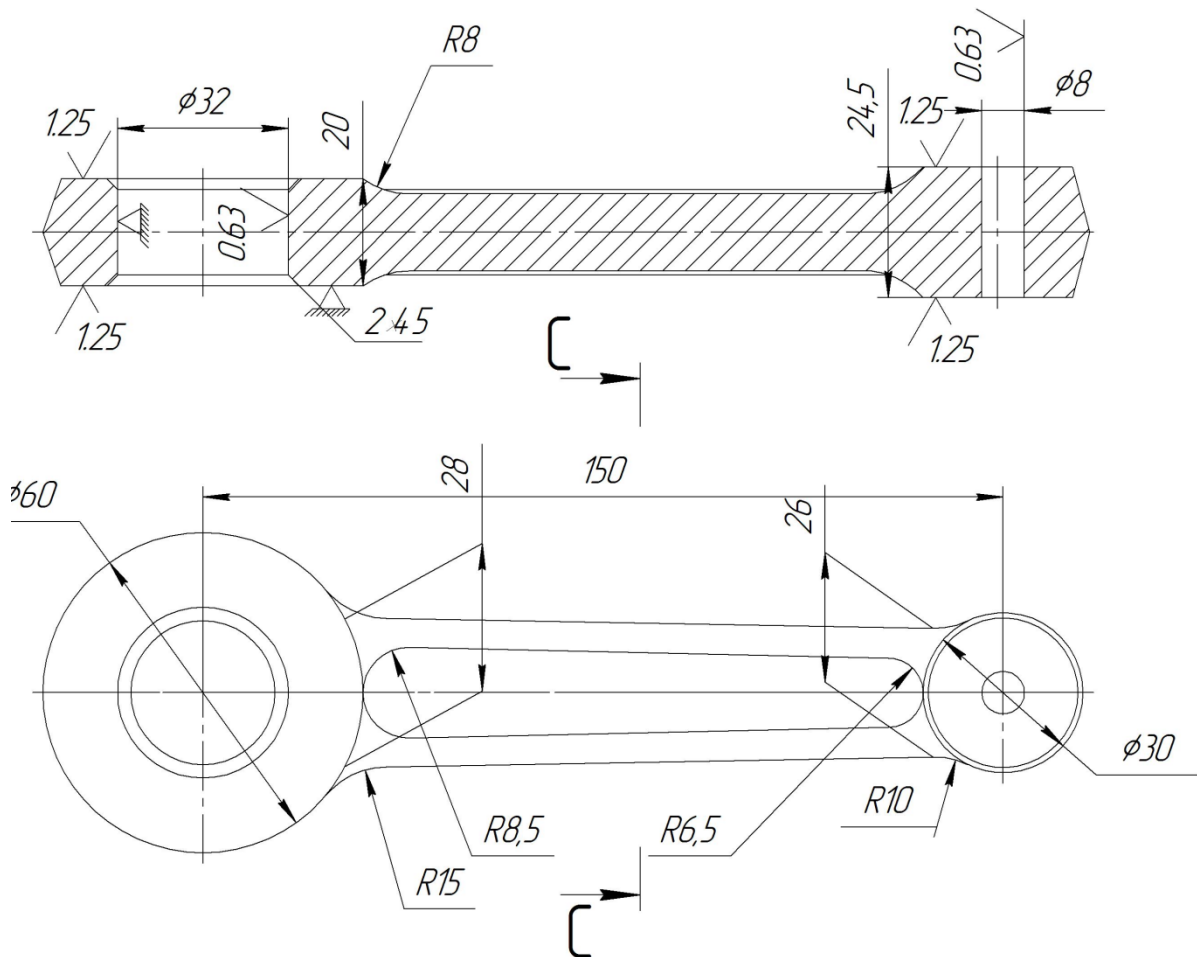
© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2012

## Содержание

1. Задание.....	4
2. Введение.....	5
3. Характеристика материалов.....	6
4. Технологическая часть.....	11
5. Конструкторская часть.....	39
6. Организационно-техническая часть.....	49
7. Проектирование поковки в системе NX.....	56
8. Создание трехмерной модели поковки.....	79
9. Моделирование штамповой оснастки.....	86
10. Приложения.....	96

## ЗАДАНИЕ

Разработать технологический процесс штамповки шатуна из стали 12ХН3А на молоте, и спроектировать необходимую технологическую оснастку. Тип производства – среднесерийный. Построить 3d модель в системе трехмерного моделирования NX.



## ВВЕДЕНИЕ

Кузнечно-штамповочное производство предназначено для изготовления изделий, являющихся машиностроительными заготовками. Кузнечно-штамповочное производство уступает литейному производству в сложности конфигурации получаемых заготовок. Однако кованные и штампованные поковки отличаются высокими механическими свойствами, что обеспечивает надежность и долговечность изготавливаемых из них деталей. Поэтому наиболее ответственные, сильно нагруженные детали изготавливают из заготовок, полученных ковкой или штамповкой.

Среди множества способов получения заготовок обработкой давлением наибольшее распространение получили свободная ковка и горячая объёмная штамповка (ГОШ). Заготовки, полученные свободной ковкой, называют коваными поковками, а изготовленные объёмной штамповкой – штампованными поковками или штамповками. В дальнейшем изделия, полученные ГОШ, будем называть поковками (согласно ГОСТ 7505 - 89).

Ковку обычно применяют в единичном и мелкосерийном производствах. Объёмная штамповка наиболее эффективна при серийном и массовом производстве поковок массой от нескольких граммов до 3 тонн, но чаще оказывается целесообразным изготовление поковок и штамповок массой 50...200 кг. ГОШ обеспечивает высокую точность заготовок и малый отход металла при окончательной механической обработке.

В зависимости от используемого оборудования различают объёмную штамповку на штамповочных паровоздушных молотах (ПМ), кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), гидравлических прессах (ГП) и т. д.

Выбор способа получения поковки зависит от пластичности материала и его сопротивления деформированию, конфигурации детали, степени ее сложности, массы, объема выпуска и условий работы детали. При низкой пластичности материала затруднительно получить качественную поковку, усложняется технологический процесс, повышается себестоимость детали. Способ изготовления заготовки можно установить лишь проведя, сравнительный анализ экономического расчета нескольких вариантов получения поковок.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ШТАМПУЕМОГО СПЛАВА

12ХН3А – конструкционная машиностроительная цементуемая легированная сталь.

Для получения высокой твердости (HRC 58-62), контактной выносливости и предела усталости при изгибе, после химико-термической обработки цементованный слой должен обладать высокой прокаливаемостью и закаливаемостью. После закалки слой должен иметь мартенситно аустенитную структуру без продуктов перлитного и промежуточного превращений переохлажденного аустенита.

Сталь 12ХН3А при закалке в масло приобретают в сердцевине структуру нижнего бейнита или низкоуглеродистого мартенсита, что приводит к значительному упрочнению стали [1]. В результате цементации повышается устойчивость переохлажденного аустенита в поверхностном слое, особенно в зоне промежуточного превращения, поэтому при закалке в масло на поверхности образуется высокоуглеродистый мартенсит (HRC 58-62). Однако следует иметь в виду, что при насыщении стали углеродом понижается температура мартенситного превращения в поверхностном слое и возрастает количество остаточного аустенита. Остаточный аустенит понижает твердость, сопротивление износу и предел выносливости. Снижение количества остаточного аустенита достигается обработкой холодом (от -100 до -120°C) после закалки или применением промежуточного высокого отпуска (600-640°C) с последующей закалкой от возможно более низкой температуры (чуть выше  $A_3$ ).

Прокаливаемость сердцевины должна обеспечить высокие механические свойства, особенно повышенный предел текучести, и твердость HRC 30 - 40. При циклических нагрузках, которые испытывает шатун сопротивление цементованных деталей разрушению зависит от прочности сердцевины. Повышение прочности сердцевины способствует увеличению контактной прочности.

Для получения высокого сопротивления хрупкому разрушению и возможности непосредственно закалки после цементации стали должны быть наследственно мелкозернистые (балл 6 - 10).

Химический состав стали 12ХН3А приведён в таблице 1 [2].

Таблица 1 - Химический состав, % (ГОСТ 4543-71)

Марка	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Cu
						не более		
12ХН3А	0,09-0,16	0,30-0,60	0,17-0,37	0,60-0,90	2,75-3,15	0,025	0,025	0,30

Для назначения режимов термообработки нужно знать критические точки стали 12ХН3А, которые занесены в таблицу 2 и температурный интервал штамповки стали, который определяется по диаграмме состояния Fe-C, приведенной на рисунке 1.

Таблица 2 - Температура критических точек, °C

Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	M <sub>n</sub>
715	773	726	659	380

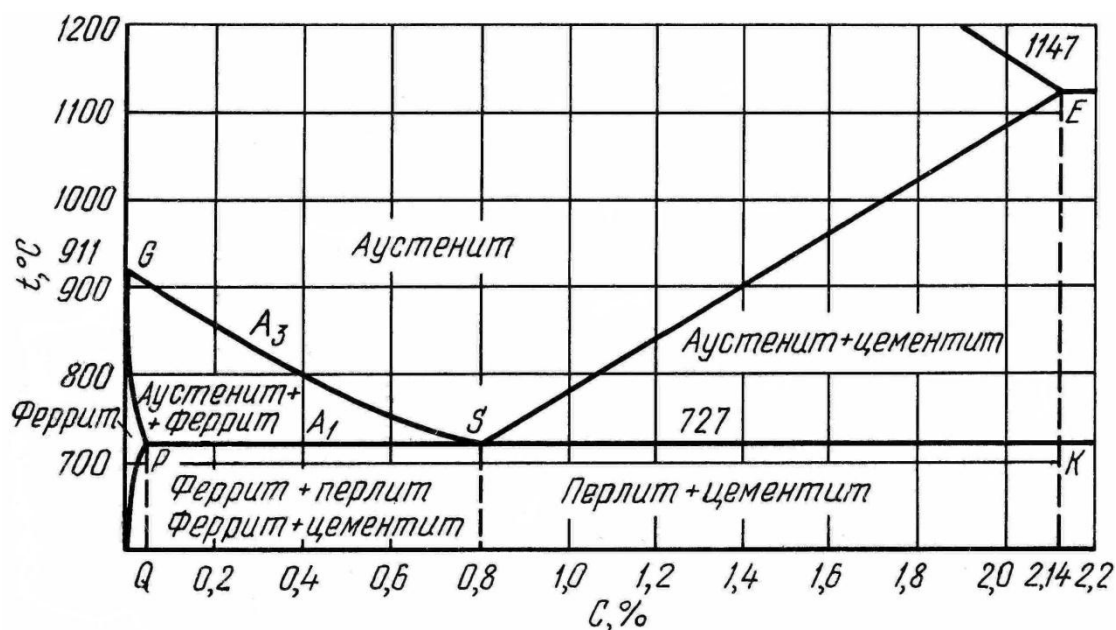


Рисунок 1 – «Стальной» участок диаграммы Fe-C

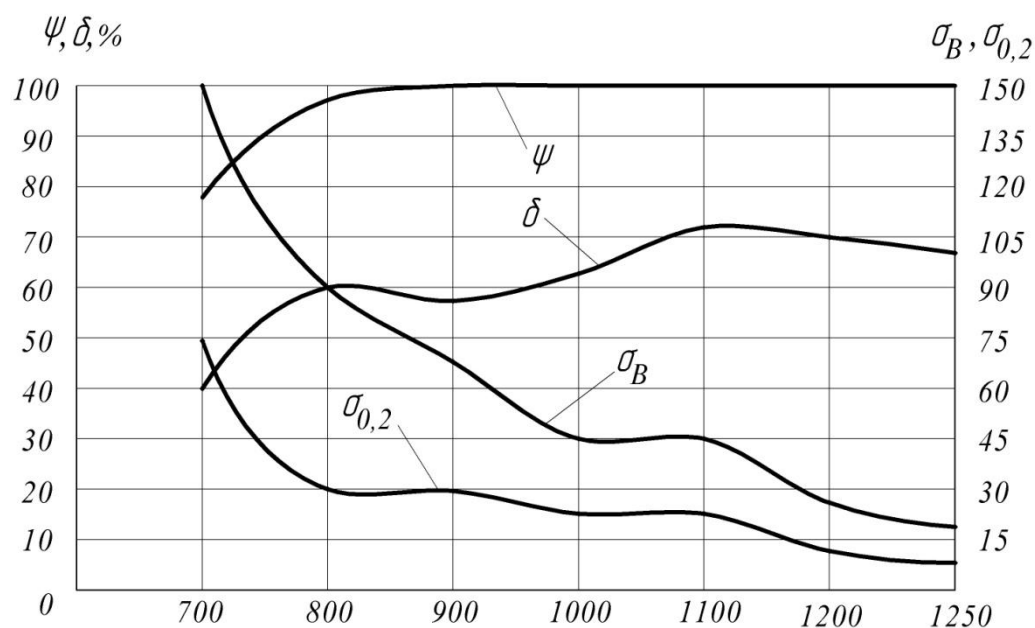


Рисунок 2 - Диаграмма пластичности сплава 12ХН3А

Горячая деформация должна проводиться в однофазной области (области аустенита) при температуре нагрева выше точки  $A_{c3}$ . Где наблюдается рост зерна аустенита и выравнивание химического состава. Верхним температурным пределом горячей деформации выбирается с учетом критической температуры роста зерна. Температуру начала горячей деформации выбирается на 150-200°C ниже кривой солидуса иначе произойдет оплавление границ зерен (пережог). Минимальная температура диапазона горячей деформации (температура конца деформации) должна назначаться из соображения обеспечения мелкого зерна и отсутствия внутренних напряжений. Температура конца горячей деформации должна соответствовать:

$$t_{к.д} = t_{Ac_3} + (20...50)^\circ C = 773 + 37 = 800^\circ C.$$

Для уточнения температурного диапазона начала и конца горячей деформации сплава 12ХН3А используют диаграмму пластичности, приведенной на рисунке 2.

*Диаграмма пластичности* – это зависимость показателей пластичности  $\delta_b, \delta, \psi, \gamma$ , прочности  $\sigma_{0.2}, \sigma_B$ , ударной вязкости и ковкости  $K_\psi$  от температуры. На диаграмме пластичности находят такой интервал горячей деформации, который обеспечивает высокую пластичность металла и низкое сопротивление деформированию. При этом ударная вязкость должна иметь максимальную величину. Кроме этих показателей при выборе температурного интервала горячей деформации необходимо учитывать критическую температуру роста зерна, критическую степень деформации. Используют для этого *диаграммы рекристаллизации*.

Для определения массы падающих частей молота, усилия обрезки заусенца, ковкость деформированного материала надо знать механические характеристики стали 12ХН3А при ковочных температурах. Эти характеристики сведены в таблицу 3.

Чтобы оценить ковкость стали 12ХН3А найдем численное значение критерия ковкости по формуле:

$$K_\psi = \frac{\psi}{\sigma_B},$$

где  $\psi$  - относительное сужение в зоне разрыва;

$\sigma_B$  – временное сопротивление;

После подстановки значений в формулу для каждой температуры получим значение критерия, которые приведены в табл. 3. Для оценки ковкости воспользуемся пятибалльной шкала ковкости, приведенная в табл. 4.



Таблица 3 - Механические характеристики стали 12ХН3А при ковочных температурах

Температура испытания, °C	$K_{\psi},$ $\frac{\%}{МПа}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$
		МПа		%	
700	0,54	71	144	41	78
800	1,07	30	91	61	97
900	1,45	27	69	58	100
1000	2,22	23	45	63	100
1100	2,27	23	44	73	100
1200	4,00	12	25	70	100
1250	5,56	10	18	67	100

Таблица 4 - Пятибалльная шкала ковкости

Балл	$K_{\psi}, \frac{\%}{МПа}$	Ковкость
1	Менее 0,01	Не куется
2	0,01-0,3	Низкая
3	0,31-0,8	Удовлетворительная
4	0,81-2	Хорошая
5	2,1 и выше	Отличная

Таким образом, сталь начинает хорошо коваться с температуры конца горячей деформации 800°C.

Для получения необходимых свойств детали после термообработки используют таблицу 5.

Таблица 5 - Механические свойства в зависимости от температуры отпуска.

Температура отпуска, °C	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$	КСУ, <i>Дж/см<sup>2</sup></i>	НВ
	МПа		%			
Закалка 800°C, масло						
200	1270	1370	12	60	98	400
300	1130	1270	13	68	78	380
400	1080	1200	14	68	83	375
500	930	1030	19	70	118	280
600	670	730	24	75	167	230

Технологические свойства стали приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Технологические свойства стали 12ХН3А

Температураковки,°C: начала 1220, конец 800. Сечения до 100 мм охлаждают на воздухе, 101 – 300 мм - в яме.
Свариваемость – ограниченная. Способы сварки: РДС,АДС под флюсом.
Обрабатываемость резанием – в горячекатаном состоянии при НВ 183-187 $K_{гms.cпл} = 1,26$ , $K_{гб.сm} = 0,95$
Склонность к отпускной хрупкости – склонна.
Флокеночувствительность – чувствительна.

Общие сведения о стали 12ХН3А приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Общие сведения о стали 12ХН3А

Заменитель - стали: 12ХН2, 20ХН3А, 25ХГТ, 12Х2Н4А, 20ХНР.
Вид поставки - Сотовой прокат, в том числе фасонный: ГОСТ 4543-71, ГОСТ 2590-71, ГОСТ 2591-71, ГОСТ 2879-69, ГОСТ 10702-78. Калиброванный пруток ГОСТ 10702-78, ГОСТ 1051-73, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78. Шлифованный пруток и серебрянка ГОСТ 14955-77. Полоса ГОСТ 103-76. Поковки и кованые заготовки ГОСТ 1133-71. Трубы ГОСТ 21729-76, ГОСТ 8734-75, ГОСТ 9567-75.
Назначение - Шестерни, валы, червяки, кулачковые муфты, поршневые пальцы и другие цементируемые детали, к которым предъявляются требования высокой прочности, пластичности и вязкости сердцевины и высокой поверхностной твердости, работающие под действием ударных нагрузок и при отрицательных температурах.

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Конструктивно-технологическая характеристика детали

В соответствии с классификацией молотовых поковок устанавливают группу, подгруппу и тип штампуемой детали [3].

*I. группа.* Поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповка плашмя). Для этих поковок характерна значительная величина отношения длины к ширине в плане; деформация заготовки в штамповых ручьях протекает главным образом при формоизменении по двум осям – в направлении высоты и ширины поковки, в направлении же главной оси (длины поковки) деформация не значительна;

*Подгруппа 1.* С прямой линией разъема и прямой удлиненной главной осью; отношение длины к средней ширине поковки в плане  $\frac{L_{\text{п}}}{b_{\text{ср}}} = \frac{338,5}{30,8} = 11 > 2,5$ ;

*Поковки типа Б:* С сложными поперечными сечениями, получаемые при значительном выдавливании металла.

*Технологические особенности изготовления поковок:* Необходимы заготовительные операции для распределения металла исходной заготовки в соответствии с площадями поперечных сечений поковки.

Таким образом, наша поковка имеет индекс I-1-Б.

При штамповке в открытом штампе на поковке по линии разъема образуется облой. Эту деталь изготавливают в открытых ручьях, так как в закрытых ручьях не изготавливают поковки I группы.

Штамповать эту деталь будем на молоте по следующим причинам:

- молот в 3-4 раза дешевле КГШП при сопоставимых мощностях КГШП и молота;
- возможность заклинивания и поломки прессов при крайнем нижнем положении ползуна, на выход из которого затрачивается много времени;
- на КГШП нельзя применить протяжку и подкатку из-за жесткого хода ползуна.
- нет необходимости очищать заготовки от окалины, так как молот наносит много ударов.
- менее сложные конструкции молотовых штампов по сравнению с конструкцией штампов КГШП.

## 2.2. Разработка чертежа поковки

Чертеж поковки разрабатывают в соответствии с ГОСТ 7505-89 и рекомендациями [3] в зависимости от расчетной массы поковки.

Исходной информацией для разработки чертежа поковки является чертеж детали, выдаваемый вместе с заданием Приложение.

Перед конструированием поковки необходимо рассчитать массу детали

$$M_d = (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \rho,$$

где  $V_1, V_2, V_n$  - объем отдельных элементов детали;

$\rho$  - плотность материала заготовки.

Объем детали равен:

$$V_d = \left( \frac{3,14}{4} (60^2 - 32^2) \cdot 20 + \frac{3,14}{4} (30^2 - 8^2) \cdot 24,5 + 245 \frac{28+24}{2} \cdot 16 - \right. \\ \left. - (245 - 8,3 - 6,3) \frac{16,6+12,6}{2} \cdot 6 - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 6,3^2 - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 8,3^2 \right) = 116382,9 \text{ мм}^3$$

Масса детали равна:

$$M_d = 116382,9 \cdot 7,87 = 915,92 \text{ кг} = 0,916 \text{ т}$$

Измерение характеристик массы с помощью САМ программы Unigraphics.

Объем = 122246,725227 мм<sup>3</sup>

Площадь = 35739,156373 мм<sup>2</sup>

Масса = 0,957269 кг

Характеристики массы, посчитанные с помощью программы, являются более достоверными менее трудоемкими, так как в теоретических расчетах пренебрегают радиусами скругления и фасками детали ввиду очень сильного усложнения расчета.

### 1 Исходные данные по детали.

1.1.Материал – сталь 12ХНЗА. Химический состав (ГОСТ 4543-71) в таблице 1.

1.2 Масса детали - 0,92 кг.

### 2 Исходные данные для расчета.

2.1 Масса поковки (расчетная) вычисляется по формуле /3/:

$$M_{н.р.} = M_d \cdot K_p,$$

где  $M_{н.р.}$  - расчетная масса поковки, кг;

$M_d$  - масса детали, кг;

$K_p$  - коэффициент для определения ориентировочной массы поковки. Значение выбирают в зависимости от характеристики детали /3/. Для деталей удлиненной формы с прямой осью  $K_p = 1,3-1,6$ .

$$M_{n.p.} = M_d \cdot K_p = 0,92 \cdot 1,5 = 1,38 \text{ кг}$$

2.2 *Выбор класса точности поковки* осуществляется в зависимости от основного деформирующего оборудования. Для штамповочного молота возьмём класс точности Т4 /3/.

2.3 *Группу стали*, примем М 1 /3/.

Средняя массовая доля углерода в стали 12ХН3А: 0,12%С; суммарная массовая доля легирующих элементов – 4,5% (0,45% Мn; 0,27% Si; 0,75% Cr; 3% Ni)

2.4 *Степень сложности* является одной конструктивных характеристик формы поковки, качественно оценивающей её и используется при назначении припусков и допусков. Степень сложности определяют путем вычисления отношения массы (объема)  $G_{II}$  поковки к массе (объему)  $G_{\phi}$  геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки.

$$\frac{V_{II}}{V_{\phi}} = \frac{116382,915}{369337,5} = 0,315$$

Выбираем степень сложности поковки С4, так как по данным ГОСТ 7505-89, эта степень точности устанавливается для поковок с тонкими элементами. В нашем случае толщина стенки равна 4 мм.

2.5 *Конфигурацию поверхности разъема* примем плоскую.

2.6 *Исходный индекс* для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений определяется в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки.

Исходный индекс – 11.

### 3 *Припуски и кузнечные напуски.*

3.1 Припуски на размеры, мм:

диаметр 60 мм и чистота поверхности 6,3 – 1,6;

диаметр 30 мм и чистота поверхности 6,3 – 1,5;

толщина 20 мм и чистота поверхности 0,4 – 1,5;

толщина 24,5 мм и чистота поверхности 0,4 – 1,5;

3.2 Дополнительные припуски учитывающие:

- смещение по поверхности разъема штампа – 0,2 мм;

- отклонение от прямолинейности, мм:

толщина 20 мм – 0,6;

толщина 24,5 мм – 0,6;

- отклонение межцентрового расстояния на размер 290 мм - 1,2 мм

### 3.3 Штамповочный уклон:

на наружной поверхности – не более 7° принимаем 7°;

на внутренней поверхности – не более 10° принимаем 10°;

## 4 Размеры поковки и их допускаемые отклонения.

### 4.1 Размеры поковки, мм:

диаметр  $60+(1,6+0,2)\times 2=63,6$  принимаем 63,5;

диаметр  $30+(1,5+0,2)\times 2=33,4$  принимаем 33,5;

толщина  $20+(1,5+0,6)\times 2=24,2$  принимаем 24;

толщина  $24,5+(1,5+0,6)\times 2=28,7$  принимаем 28,5;

4.2 Минимальный радиус закругления наружных углов для глубины ручья 10-25 мм – 1,6 мм;

### 4.3 Допускаемые отклонения размеров, мм:

диаметр  $63,5^{+1,3}_{-0,7}$ ;

толщина  $24^{+1,1}_{-0,5}$ ;

диаметр  $33,5^{+1,1}_{-0,5}$ ;

толщина  $28,5^{+1,1}_{-0,5}$ ;

4.4 Не указанные предельные отклонения размеров – допуск размеров, не указанный на чертеже поковки, принимается равным 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

### 4.5 Не указанные допуски радиусов закругления, мм:

радиус закругления 2 мм – 1;

радиус закругления 6 мм – 2;

радиус закругления 6,3 мм – 3;

радиус закругления 8,3 мм – 3;

радиус закругления 10 мм – 3;

радиус закругления 15 мм – 5;

4.6 Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа – 0,3 мм;

4.7 Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности – 1,2 мм;

4.8 Допускаемая величина остаточного облоя или срезанной кромки – 0,6 мм;

4.9 Допускаемое отклонение межцентрового расстояния  $\pm 1,2$  мм

## 5 Проектирование углублений и отверстий.

При штамповке поковок с глухими полостями или сквозными отверстиями стремятся получить наметки возможно большего объема, что обеспечивает экономию металла и уменьшение механической обработки.

Штамповкой возможно получение наметок отверстий с диаметром основания

$$d_{осн\min} = 24 + 0,0625 D_{II}$$

где  $D_{II}$  - диаметр поковки, мм

В нашем случае вместо диаметра поковки подставим длину поковки.

$$d_{осн\min} = 24 + 0,0625 \cdot 335 = 45 \text{ мм}$$

Так как минимально возможный диаметр отверстия равен 45 мм, а у нас отверстие диаметром 32 мм, то штамповкой получить отверстие не возможно.

Отверстие диаметром 8 мм так же получить не представляется возможным, так как по ГОСТу 7505-89 диаметр сквозного отверстия должен быть не менее 30 мм, а толщина поковки в месте пробивки – не более диаметра пробиваемого отверстия.

Отверстие в поковке будем изготавливать механической обработкой (сверлением), а на поковке сделаем напуск.

Чертеж поковки изображен в приложении.

### 2.3. Расчёт размеров облойной канавки.

В соответствии с рекомендациями [3] выбираем тип облойной канавки для штамповки на молоте.

Канавка типа I обеспечивает большую стойкость выступа (мостика), так как верхняя половина штампа прогревается меньше, чем нижняя.

*Основные параметры поковки:*

Площадь проекции на плоскость разъема штампа:

$$F_{II} = \frac{\pi 63,5^2}{4} + \frac{\pi 33,5^2}{4} + \frac{28+24}{2} \cdot 245 = 10418,3 \text{ мм}^2$$

Длина поковки в плане:

$$l_{II} = 338,5 \text{ мм}$$

Средняя ширина поковки в плане:

$$b_{cp} = \frac{F_{II}}{l_{II}} = \frac{10418,3}{338,5} = 30,78 \text{ мм}$$

Объем поковки:

$$V_{II} = \frac{3,14 \cdot 63,5^2}{4} \cdot 24 + \frac{3,14 \cdot 33,5^2}{4} \cdot 28,5 + \frac{28+24}{2} \cdot 245 \cdot 16 - (245 - 8,3 - 6,3) \cdot \frac{16,6+12,6}{2} \cdot 6 - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 6,3^2 + \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 8,3^2 = 182749,65 \text{ мм}^3$$

Расчетная масса поковки определяется исходя из её номинальных размеров:

$$M_{II} = V_{II} \rho = 182749,65 \cdot 7,87 \cdot 10^{-3} = 1438,2 \text{ г} = 1,4 \text{ кг}$$

Определение размеров облойной канавки типа I производится в зависимости от толщины облойного мостика  $h_o$  [3].

Толщину облойного мостика рекомендуется определять в зависимости от формы поковки в плане [3]:

для поковок произвольной формы с площадью поперечного сечения  $F_{II}$  формула имеет вид:

$$h_o = 0,015 \sqrt{F_{II}} = 0,015 \sqrt{10418,3} = 1,53 \text{ мм}$$

Подбирают ближайшее значение по источнику [3] и определяют номер канавки, а, следовательно, и другие размеры канавки:

$h_o = 1,6 \text{ мм}$  - толщина мостика облойной канавки;

Номер канавки 4;

$h_1 = 3,5 \text{ мм}$  - высота магазина;

$R = 1,5 \text{ мм}$  - радиус закругления мостика;

$b = 8 \text{ мм}$  - ширина мостика;

$b_1 = 22 \text{ мм}$  - ширина магазина;

$S_{об.к} = 1,02 \text{ см}^2 = 102 \text{ мм}^2$  - площадь поперечного сечения облойной канавки;

Облойная канавка с данными размерами изображена на рисунке 3.

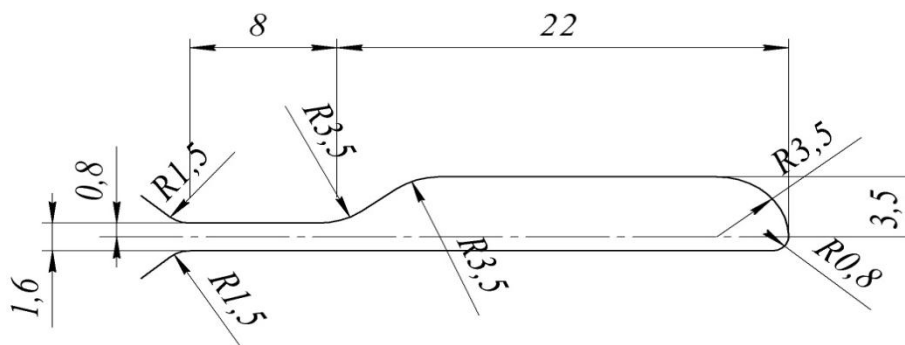


Рисунок 3 – Облойная канавка



Объем облоя  $V_0$  можно определить как произведение средней площади его поперечного сечения на длину линии, проходящей через центры тяжести через центр тяжести поперечного сечения облоя, или приближенно по формуле [3]:

$$V_0 = S_0 P_{\Pi}$$

где  $P_{\Pi}$  - периметр поковки по линии разъема. Для поковок массой менее 3 кг вместо периметра  $P_{\Pi}$  в расчетах используют периметр по центру тяжести облоя, находящегося на расстоянии  $\frac{(b+b_1)}{2} = \frac{(8+22)}{2} = 15 \text{ мм}$  от крайней точки контура поковки.

$$P_{\Pi} = 3,14 \cdot 93,5 + 3,14 \cdot 63,5 + 2 \cdot 241,5 = 975,98 \text{ мм}$$

Средняя площадь поперечного сечения облоя  $S_0$  находится в зависимости от площади поперечного сечения облойной канавки по формуле:

$$S_0 = \xi S_{об.к.},$$

где  $\xi$  - коэффициент, учитывающий степень заполнения облойной канавки; зависит от формы поковки и сложности сечения [3].

$$S_0 = \xi S_{об.к.} = 0,5 \cdot 102 = 51 \text{ мм}^2$$

$$V_0 = 51 \cdot 975,98 = 49775 \text{ мм}^3$$

## 2.4. Построение расчетной заготовки и эпюры сечений.

В основу выбора переходов штамповки положена форма и размеры поковки. Возможная комбинация заготовительных ручьев при штамповки поковок приведена в литературе [3]. При выборе штамповки поковок первой группы следует проверить возможность расположения всех ручьев в одном штампе, установить потребность производства данной поковки на двух однотипных видах оборудования, которая может быть вызвана размерами поковки, сложностью формы, когда требуется центральное расположение предварительного и окончательного штамповочных ручьев; выявить возможность выноса заготовительных операций на другие более производительные и экономичные машины (ковочные вальцы, ГКМ, электровысадочные машины и т.д.), желательно, чтобы такие процессы осуществлялись с одного нагрева с широким применением средств механизации.

Выбирать заготовительные ручьи для поковок первой группы надо с помощью построения расчетной заготовки и эпюры сечений по диаграмме пределов применения заготовительных ручьев и коэффициентам подкатки.

Построение расчетной заготовки и эпюры сечений необходимо для конструирования ручьев, определения размеров исходной заготовки, расчёта переходов вальцовки на ковочных вальцах и т.д.

*Расчётной заготовкой* называется такая условная заготовка с круглыми поперечными сечениями, площади которых равны суммарной площади соответствующих сечений поковки и облоя:

$$S_{\text{э}} = S_{\text{п}} + 2\xi S_{\text{об.к.}},$$

где  $S_{\text{п}}$  - площадь поперечного сечения поковки.

Диаметр расчетной заготовки в любом месте может быть определён как:

$$d_{\text{э}} = 1,13\sqrt{S_{\text{э}}}$$

Эпюрой поперечных сечений расчётной заготовки называется такая диаграмма, каждая высота которой в масштабе М равна площади соответствующих сечений расчётной заготовки:

$$h_{\text{э}} = \frac{S_{\text{э}}}{M}$$

Вычисленные значения для каждого сечения сведены в таблицу 8.

Объем расчётной заготовки:

$$V_{\text{э}} = F_{\text{э}}M = 7961,34 \cdot 25 = 199033,5 \text{ мм}^3,$$

где  $F_{\text{э}}$  - площадь эпюры поперечных сечений расчетной заготовки (вычисляется в программе Компас).

Если не пользоваться программой Компас, объем расчетной заготовки можно посчитать следующим образом:

Средней расчётной заготовкой называется цилиндр диаметром  $d_{\text{ср}}$ , длина которого равна длине поковки  $l_{\text{э}} = l_{\text{п}}$  и объем  $V'_{\text{э}}$  равен сумме объема поковки  $V_{\text{п}}$  и объема облоя  $V_0$ :

$$V'_{\text{э}} = V_{\text{п}} + V_0 = 182749,65 + 49775 = 232524,65 \text{ мм}^3$$

Объем средней заготовки рассчитанный разными способами получается примерно одинаковым:

$$V_{\text{э}} \approx V'_{\text{э}}$$

В расчетах далее будем использовать значения объема расчетной заготовки полученной с помощью программы Компас – 3D V8, так как это значение более точное.

Высота эпюры среднего сечения:

$$h_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{э}}}{l_{\text{э}}} = \frac{7961,34}{338,5} = 23,5 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения  $S_{cp}$  и диаметр  $d_{cp}$  средней расчетной заготовки могут быть определены по формулам:

$$S_{cp} = \frac{V_{\text{э}}}{l_{\text{э}}} = \frac{199033,5}{338,5} = 588 \text{ мм}^2$$

$$d_{cp} = 1,13\sqrt{S_{cp}} = 1,13\sqrt{588} = 27,4 \text{ мм}$$

Таблица 8 - Расчёт эпюры диаметров.

Номер сечения	$S_{II}$	$S_{об.к}$	$\xi$	$S_{\text{э}}, мм^2$	$d_{\text{э}}, мм$	М	$h_{\text{э}}, мм$
	мм <sup>2</sup>						
1	0	102	1,0 <sup>*</sup>	204	16,14	25	8,16
2	1315,2		0,5	1417,2	42,54		56,69
3	1524		0,5	1626	45,58		65,04
4	1315,2		0,5	1417,2	42,54		56,69
5	248,8		0,5	350	21,14		14
6	240,8		0,5	342,5	20,9		13,7
7	232,8		0,5	334,8	20,68		13,39
8	867,54		0,5	969,54	35,19		38,78
9	954,75		0,5	1056,75	36,73		42,57
10	867,54		0,5	969,54	35,19		38,78
11	0		1,0 <sup>*</sup>	204	16,14		8,16
* Для конечных сечений $\xi=1,0$							

На рисунке 4 показана расчетная заготовка шатуна и эпюра её сечений.

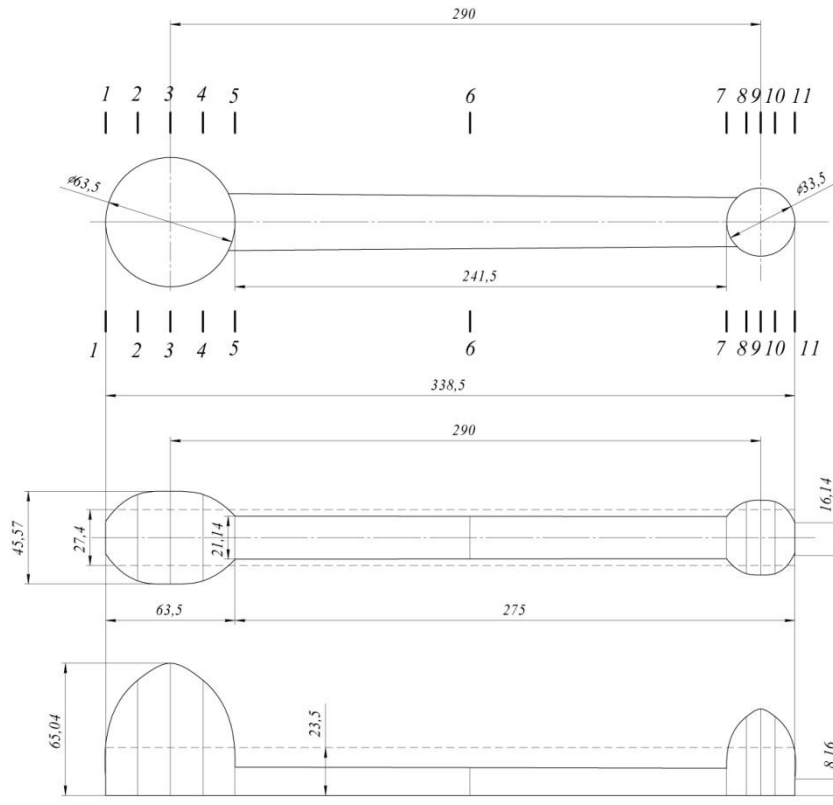


Рисунок 4 - Расчетная заготовка шатуна и эпюра её сечений

## 2.5.Выбор переходов штамповки

На практике применяют два способа выбора заготовительных ручьёв, которые базируются на соотношении размеров расчетной и средней заготовок.

Первый метод основывается на соотношении размеров расчётной и средней заготовок, выраженном коэффициентами [4]:

$$\alpha = \frac{d_{\max}}{d_{cp}} = \frac{45,58}{27,4} = 1,7$$

$$\beta = \frac{l_{\vartheta}}{d_{cp}} = \frac{338,5}{27,4} = 12,4$$

$$K = \frac{d_{\kappa} - d_{\min}}{l_{cp}} = \frac{21,14 - 16,14}{275} = 0,02$$

Используя рассчитанные значения  $\alpha, \beta, K, M_{II}$ , по диаграмме пределов применения заготовительных ручьёв [4] определяют потребность в заготовительных ручьях.

Недостатком этого метода является то, что он не учитывает набор, осуществляемый в штамповочных ручьях, и не дает указаний на замену пережимного ручья формовочным.

Второй метод дает определить переходы штамповки по коэффициенту подкатки  $K_{n.o}$ . Коэффициент подкатки определяется из соотношения размеров расчетной и средней заготовок по формуле [3]:

$$K_{n.o} = \frac{S_{\max}}{S_{cp}} = \frac{1626}{588} = 2,8$$

При  $K_{n.o} > 1,8$  необходимо применять протяжной ручей, а также подкатной открытый ручей, так как расчетная заготовка имеет выступу с отношением  $\frac{d_{\epsilon}}{d_{\min}} = \frac{45,58}{16,14} = 2,8 > 1,2$  [3].

Подкатной открытый ручей применяется после протяжного в целях фиксации расстояний между головками.

Итак, для штамповки данной поковки необходимо применять следующие переходы:

1. Протяжной.
2. Открытый подкатной.
3. Окончательный.

Схема расположения ручьев в штампе представлена на рисунке 5.

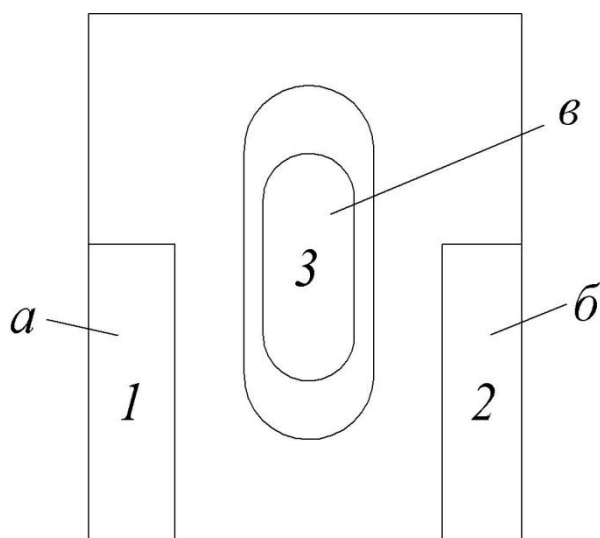


Рисунок 5 – Схема расположения ручьев в штампе: а – протяжной ручей; б – подкатной открытый ручей; в – окончательный ручей.

## 2.6. Определение размеров заготовки

Размеры исходной заготовки определяют исходя из двух основных факторов: расчетной заготовки и принятой комбинации переходов штамповки [3].

Объем заготовки на одну поковку  $V_{зг}$  равен произведению площади  $S_{зг}$  сечения заготовки на её длину  $l_{зг}$ , отнесенную к одной поковке, т.е.

$$V_{3Г} = S_{3Г} l_{3Г}.$$

Объем заготовки  $V'_{3Г}$  с учетом потерь (без клещевины) определяют по формуле

$$V'_{3Г} = V_{н.о} \frac{100 + \delta}{100},$$

где  $V_{н.о} = V_{II} + V_O = 182749,65 + 49775 = 232524,65 \text{ мм}^3$  - суммарный объем поковки и облоя;  $\delta$  - угар металла /1/.

$$V'_{3Г} = 233506,65 \frac{100 + 0,02}{100} = 232571,15 \text{ мм}^3$$

Площадь поперечного сечения исходной заготовки равна при протяжке и подкатке [3]:

$$S'_{3Г} = S_{np} - K(S_{np} - S_{нд})$$

$$S_{нд} = (1,02 \div 1,2) S_{cp} = 1,2 S_{cp} = 1,2 \cdot 588 = 705,6 \text{ мм}^2$$

$$S_{np} = \frac{V'_Г}{l_Г} - \text{площадь поперечного сечения заготовки при протяжке, где } V'_Г - \text{объем}$$

головки расчётной заготовки с учётом потерь на угар  $\delta$ . Для стали при индукционном нагреве 0,02% [5].

$$V'_Г = V_Г \frac{100 + \delta}{100} = \frac{3,14 \cdot 63,5^2}{4} \cdot 24,5 \cdot \frac{100 + 0,02}{100} = 77705,35 \text{ мм}^3$$

$$S_{np} = \frac{77705,35}{63,5} = 1223,7 \text{ мм}^2$$

$$S'_{3Г} = 1223,7 - 0,02(1223,7 - 705,6) = 1213,3 \text{ мм}^2$$

Подбираем по ГОСТу или сортового проката [5] такой диаметр профиля или такую сторону квадрата, чтобы она давала ближайшую большую площадь поперечного сечения заготовки.

$$S_{3Г} = \frac{\pi D_{3Г}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 1256 \text{ мм}^2$$

Длина исходной заготовки на одну поковку:

$$l_{3Г} = \frac{V'_{3Г}}{S_{3Г}} = \frac{232571,15}{1256} = 186 \text{ мм}$$

Из одной заготовки может быть изготовлено несколько поковок.

В соответствие с рекомендациями [3] и по диаграмме пределов применения различных заготовок (по А.В. Ребельскому), изображенной на рисунке 6, выбирается вариант заготовке по длине: на две поковки.

$$L_{II} = 338,5 \text{ мм}$$

$$G_{II} = 1,4 \text{ кг}$$

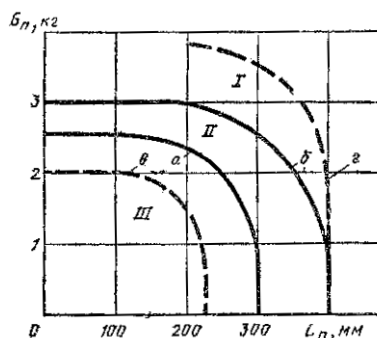


Рисунок 6 – Диаграмма пределов применения различных заготовок (по А.В. Ребельскому)

Штамповку двух поковок из одной заготовки производят следующим образом. Сначала штампуются первая поковка, потом производится поворот заготовки на  $180^\circ$  и штамповка второй поковки, при этом происходит подстуживание заготовки, что не благоприятно скажется на формировании тонкой срединной части, и заполнению головок. Поэтому этот вариант в данном случае будет являться не технологичным. Выберем более технологичный вариант для данной поковки – это штамповка из отдельной заготовки.

С учётом выбранного варианта  $L_{3г} = l_{3г} = 186 \text{ мм}$

Масса заготовки:

$$M_{3г} = \frac{\pi D_{3г}^2}{4} L_{3г} \rho = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 186 \cdot 7,87 \cdot 10^{-3} = 1838,62 \text{ г} = 1,8 \text{ кг}$$

Таким образом, круглую горячекатаную сталь (ГОСТ 2590-71) будем резать на заготовки диаметром 40 мм, длиной 186 мм, площадью поперечного сечения  $1256 \text{ мм}^2$  и массой 1,8 кг.

## 2.7. Расчет массы падающих частей молота

Одним из ответственных расчетов при разработке технологического процесса штамповки является расчет массы падающих частей молота. От правильного выбора машины-орудия зависят расход энергии, производительность, точность получаемых изделий, износ инструмента и др.

Заниженная масса падающих частей молота приводит к снижению производительности штамповки из-за увеличения необходимого числа ударов в штамповочных ручьях. Завышенная масса падающих частей молота, связана с уменьшением стойкости штампов, увеличением расходов по эксплуатации молота.

Основные параметры поковки, необходимые для определения массы падающих частей штамповочного молота:

площадь проекции на плоскость разреза штампа

$$F_{II} = 10418,3 \text{ мм}^2$$

приведенный диаметр

$$D_{np} = 1,13\sqrt{F_{II}} = 1,13\sqrt{10418,3} = 115,3 \text{ мм}$$

средняя ширина поковки

$$b_{cp} = \frac{F_{II}}{l_{II}} = \frac{10418,3}{338,5} = 30,8 \text{ мм}$$

отношение

$$m = \frac{l_{II}}{b_{cp}} = \frac{338,5}{30,8} = 11$$

ширина мостика облойной канавки

$$b = 8 \text{ мм}$$

высота мостика облойной канавки

$$h_0 = 1,6 \text{ мм}$$

$\sigma_{0,2}$  - предел текучести материала поковки при данной температуре. Для стали 12ХН3А при  $t = 1000^\circ \text{C}$   $\sigma_{0,2} = 23 \text{ МПа} / 5/$ .

При штамповке некруглых в плане поковок необходимую массу (кг) падающих частей паровоздушного штамповочного молота находят из выражения /2/:

$$\begin{aligned} G_m &= 5,6 \cdot 10^{-4} \sigma_{0,2} (1 - 0,0005 D_{np}) \times \\ &\times \left\{ 3,75 \left( b + \frac{D_{np}}{4} \right) (75 + 0,001 D_{np}^2) + D_{np} \left( \frac{b^2}{2} + \frac{b D_{np}}{4} + \frac{D_{np}^2}{50} \right) \times \right. \\ &\times \ln \left[ 1 + \frac{2,5 (75 + 0,001 D_{np}^2)}{D_{np} h_0} \right] \left. \left( 1 + 0,1 \sqrt{\frac{l_n}{b_{cp}}} \right) = 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 23 \times \right. \\ &\times (1 - 0,0005 \cdot 115,3) \times \left\{ 3,75 \left( 8 + \frac{115,3}{4} \right) (75 + 0,001 \cdot 115,3^2) + 115,3 \cdot \left( \frac{8^2}{2} + \frac{8 \cdot 115,3}{4} + \frac{115,3^2}{50} \right) \times \right. \\ &\times \ln \left[ 1 + \frac{2,5 (75 + 0,001 \cdot 115,3^2)}{115,3 \cdot 1,6} \right] \left. \left( 1 + 0,1 \sqrt{\frac{338,5}{30,8}} \right) = 2037854,95 \cdot 10^{-4} = 204 \text{ кг} \right. \end{aligned}$$

Рассчитаем максимальное усилие в конце процесса:

$$P_{\max} = \sigma \left( \left( 2,6 + 0,12 \frac{b_{cp}}{h_0} + \frac{2\mu b}{h_0} \right) F_{II} + \left( 1 + \frac{\mu b}{h_0} \right) \right) F_M (H),$$

где  $F_M$  - площадь проекции мостика облойной канавки на плоскость разреза (определяется программой Компас 3DV8 ).



$$F_M = 6625,66 \text{ мм}^2 = 0,0066 \text{ м}^2;$$

$$F_{II} = 0,01 \text{ м}^2;$$

$\mu = 0,5$  - максимальное значение коэффициента трения;

$\sigma = 69 \cdot 10^6 \text{ Па}$  - сопротивление деформированию, принимаемое приблизительно равным временному сопротивлению на растяжение при температуре окончания штамповки

$$\begin{aligned} p_{\max} &= \sigma \left( \left( 2,6 + 0,12 \frac{b_{cp}}{h_0} + \frac{2\mu b}{h_0} \right) F_{II} + \left( 1 + \frac{\mu b}{h_0} \right) F_M \right) = \\ &= 69 \cdot 10^6 \left( \left( 2,6 + 0,12 \frac{30,8}{1,6} + \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 8}{1,6} \right) 0,01 + \left( 1 + \frac{0,5 \cdot 8}{1,6} \right) \right) \cdot 0,0066 = 1639030 \text{ Н} = 1,6 \text{ МН} \end{aligned}$$

Для проверки рассчитанной массы падающих частей молота можно использовать следующее соотношение: кривошипный пресс, развивающий максимальное усилие в 10 МН, равноценен паровоздушному штамповочному молоту с массой падающих частей 1 т.

Из источника [7] выбираем паровоздушный штамповочный молот двойного действия MB2140 со следующими техническими характеристиками:

Энергия удара, кДж: 25;

Частота ударов бойка, 1/мин: 96;

масса падающих частей, кг: 1000;

Расстояние между направляющими в свету, мм: 500;

Габариты, мм: 2600×1300×4470;

Масса, кг: 25000.

## 2.8. Резка проката на заготовки

Заготовки требуемого качества могут быть получены разными способами отрезки. При выборе наиболее рационального способа надо учитывать вид и свойства разрезаемого металла, форму и размеры сечения, относительную длину заготовок, требования к ним, отходы металла [5].

Самым производительным, металлосберегающим и экономичным способом разделения проката на точные заготовки является разрезка в штампах обеспечивает существенную экономию металла по сравнению с разрезкой на пилах или с отрезкой на токарных станках.

Разрезку стального проката диаметром до 60 мм на заготовки преимущественно проводят в отрезных штампах на кривошипных прессах. Выберем схему отрезки с дозированием заготовок по объему. Она позволит сократить погрешность заготовок по объему.

На рисунке 7 показана схема отрезного штампа с зажимом во втулочном ноже и на неподвижной опоре. Это штамп предназначен для не полностью закрытой отрезки с пассивным поперечным зажимом. Этот штамп отличается тем, что в нем применен открытый подвижный нож, что упрощает удаление отрезанной заготовки («на провал»). Передний конец опирается на неподвижную опору. Эти штампы применяются для отрезки длинных заготовок ( $\frac{l}{d} > 2$ ).

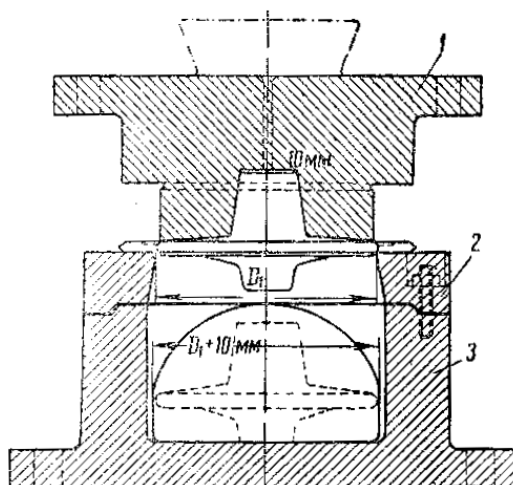


Рисунок 7 – Схема отрезного штампа с зажимом во втулочном ноже и на неподвижной опоре

*Параметры и силовые характеристики процесса отрезки.* Различают геометрические и силовые параметры процесса отрезки. К геометрическим параметрам относят поперечный и осевой зазоры, угол наклона прутка.

*Поперечный зазор* между отверстием ножа и прутком  $z_{\Pi} = d_n - d$  необходим для возможности введения прутка в ножи. Он оказывает вредное влияние на отрезку, снижая геометрическую точность заготовок. Для горячекатаного прутка при диаметре прутка 40 мм  $z_{\Pi} = 1,7 \text{ мм}$  [5].

*Угол наклона прутка  $\alpha$ .* Для того чтобы обеспечить перпендикулярность торцов заготовки к её оси необходимо придать прутку наклонное положение относительно направления реза. для стали 12ХН3А оптимальный угол наклона  $\alpha = 3^\circ$  [5].

*Осевой зазор* между подвижными и неподвижными ножами назначают в зависимости от характеристик прочности разрезаемого металла и диаметра сечения прутка  $z_{oc} = 1,5 \text{ мм}$  [5].

*Резка с нагревом.* Нагрев проката перед разрезкой применяют в целях предотвращения образования дефектов, для снижения усилия разрезки или для повышения точности отрезаемых заготовок. Для предотвращения трещин при разрезки прутков, охлажденных в зимнее время на улице, их подвергают перед разрезкой до температуры до  $80^\circ\text{C}$ . При

подогреве устраняются масляные пятна и ледяная корка. Нагревать прутки, кроме как в зимнее время, не будем, чтобы избежать лишнее оборудование.

*Усилие отрезки P.* Усилие зависит от характеристик прочности разрезаемого металла, площади поперечного сечения прутка, схемы отрезки и скорости деформирования. При не полностью и не полностью закрытой отрезке усилие возрастает сравнительно плавно, а затем резко снижается.

Для определения максимального усилия разрезки можно пользоваться приближенными формулами [5]:

$$P = 0,72 K_p \sigma_B F = 0,72 \cdot 1,0 \cdot 67 \cdot \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 60589 \text{ кг} = 606 \text{ кН},$$

где  $K_p$  - коэффициент, зависящий от схемы отрезки и от скорости деформирования [5];

$\sigma_B$  - предел прочности ( $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ ); F – площадь поперечного сечения прутка.

*Распорное усилие T.* Действует со стороны ножей на прутки и отрезаемую от него заготовку. Такие же по значению, но противоположные по направлению силы действуют со стороны прутка и заготовки на ножи, стремясь раздвинуть их и увеличить осевой зазор между ножами. Распорное усилие при не полностью закрытой отрезке без поперечного зажима можно определить по формуле [5]:

$$T = (0,18 \div 0,35) P = 0,25 \cdot 606 = 152 \text{ кН}$$

*Работа деформации.* При отрезке графически выражается площадью, ограниченной кривой и осью абсцисс на графике «усилие – ход ножа» [5]:

$$A = \lambda P_{\max} h = 0,18 \cdot 606000 \cdot 40 = 4363200 \text{ Дж} = 4,4 \text{ МДж}$$

*Выбор оборудования.* Сортовой прокат разрезают путем сдвига на заготовки в штампах на кривошипных прессах или ножницах. Применяют сортовые или комбинированные ножницы [5].

Технические характеристики сортовых кривошипных ножниц:

Модель - Н 1830 В;

Дифференцированного зажима - нет;

Номинальное усилие – 1000 кН;

Число ходов в минуту – 75;

Наибольший размер сечения разрезаемого проката:

Круг – 56 мм

Квадрат – 55 мм

Полоса – 100 мм

Наибольшая длина отрезаемой заготовки – 630 мм;

Мощность привода – 18,8кВт;

Габаритные размеры, мм - 8700×2000×3000;

Масса – 11,2т.

Норма расхода металла ( в граммах ) на одну поковку определяется из выражения:

$$G = \frac{\pi D_{3Г}^2}{4} \rho \left( \frac{L_{3Г}}{m} + \frac{l_{обр} + l_n}{n} + l_{np} \right),$$

где  $D_{3Г}$  - диаметр заготовки, см;

$\rho$  - плотность штампуемого материала, г/см<sup>3</sup>;

$L_{3Г}$  - длина заготовки, см;

$m$  - число поковок получаемых из одной заготовки;

$l_{обр} \geq 0,5 D_{3Г} \geq 2 \text{ см}$  - длина торцевого обрезка, см;

$l_n = 0,5 L_{3Г} = 0,5 \cdot 186 = 93 \text{ мм} = 9,3 \text{ см}$  - расчетная длина некратности, см;

$l_{np}$  - длина прорезки, равная толщине пильного диска или ширине резца, см;

При резке на в штампах или на ножницах  $l_{np} = 0$ .

$n$  - количество поковок, получаемых из одного прутка;

$$n = \frac{(L_p - l_{обр} - l_{np} - l_n)m}{L_{3Г}};$$

$L_p$  - расчетная длина мерного проката;

$$L_p = \frac{L_{\bar{\sigma}} + L_m}{2 + K},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий влияние укороченных штанг, допускаемых в каждой партии,

$$K = \frac{\Pi}{100} \frac{L_{\bar{\sigma}} - L_{ук}}{L_m + L_{ук}}$$

В примечаниях к соответствующим ГОСТам на сортамент проката [5] указывается наибольшая  $L_{\bar{\sigma}}$  и наименьшая  $L_m$  длина прутков. Кроме этого указывается количество  $\Pi\%$  - укороченных штанг длиной не менее  $L_{ук}$ .

$$K = \frac{\Pi}{100} \frac{L_{\bar{\sigma}} - L_{ук}}{L_m + L_{ук}} = \frac{10}{100} \frac{6-1}{2+1} = 0,17$$

$$L_p = \frac{L_{\bar{\sigma}} + L_m}{2 + K} = \frac{6 + 2}{2 + 0,17} = 3,7 \text{ м} = 370 \text{ см}$$

$$n = \frac{(L_p - l_{обр} - l_{np} - l_n)m}{L_{3Г}} = \frac{(370 - 2 - 0 - 9,3) \cdot 1}{18,6} = 19,28$$

$$G = \frac{\pi D_{3\Gamma}^2}{4} \rho \left( \frac{L_{3\Gamma}}{m} + \frac{l_{обp} + l_n}{n} + l_{np} \right) = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot 7,87 \cdot \left( \frac{18,6}{1} + \frac{2+9,3}{19,28} + 0 \right) = 1896,5 \text{ г}$$

Показателем экономичности раскроя является коэффициент раскроя, определяемый по формуле:

$$K = \frac{n \cdot L_{3\Gamma}}{m \cdot L_p} \cdot 100\% = \frac{19,28 \cdot 18,6}{1 \cdot 370} \cdot 100\% = 96,9\%$$

## 2.9. Обрезка облоя и правка поковок.

Обрезку облоя и удаление перемычек производят в холодном и горячем состоянии поковок. При холодной обрезке легче осуществить подгонку матриц и пуансонов, наладку штампов. Холодный способ облегчает автоматизацию и механизацию процесса, позволяет увеличить производительность обрезных прессов, получить более точные размеры поковок с более гладкой поверхностью, а также увеличить стойкость штампов.

В холодном состоянии обрезку облоя производят у мелких и средних поковок из углеродистой стали с содержанием углерода до 0,4% и поковок из низколегированной стали, штампуемых на молотах с массой падающих частей до 1-2 т.

При холодной обрезке ритм штамповки поковок не связан с ритмом их обрезки. Поэтому в целях повышения производительности процесса прессы для холодной обрезки устанавливают на отдельном участке горячештамповочного цеха или выносят в другое помещение.

*Правка поковок.* Поковки в процессе штамповки подвергаются искривлению (короблению), а в некоторых случаях происходит выступающих ребер и бобышек.

Искривление поковок происходит главным образом при обрезке облоя и пробивке перемычек в результате неплотного прилегания опорной поверхности поковки. У поковок с вытянутой осью стрела прогиба увеличивается с ростом отношения длины поковки к её средней высоте ( $\frac{L}{h_{cp}}$ ).

Правку необходимо назначать в тех случаях, когда величина искривления превышает допуск на размеры поковки. Размеры допустимой кривизны поковок регламентируются ГОСТ 7505-74.

В нашем случае, необходимо проводить правку поковки, так как поковка длинноосная и в середине находится участок с тонким поперечным сечением. Будем применять правку в холодном состоянии.

Холодную правку применяют в основном для мелких и средних по массе поковок простых и сложных форм. Её обычно осуществляют после термической обработки и очистки поковок от окалины на штамповочных фрикционных молотах, фрикционных винтовых прессах, устанавливаемых в термическом отделении цеха.

*Усилие обрезки и выбор обрезного пресса.*

Необходимое усилие (МН) обрезки облоя или пробивки перемычки определяют по формуле [3]:

$$P = (1,5 \div 1,8) 10^6 S t \sigma_B,$$

где S – периметр среза, мм;

t – действительная толщина среза облоя, мм;

$\sigma_B$  – предел прочности при температуре обрезке облоя, МПа;

Действительная толщина среза облоя:

$$t = z + n,$$

где z – определяется графически по линии среза облоя [3];

n – возможная недоштамповка;

$$t = z + n = 1,8 + 1,1 = 2,9 \text{ мм}$$

$$P = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 778,16 \cdot 2,9 \cdot 670 = 2,2 \text{ МН}$$

Из источника [7] выбираем пресс двухкривошипный обрезной закрытый модели КА9035.

Технические характеристики:

Номинальное усилие, МН: 3,15;

Ход/недоход ползуна, мм: 250/8;

Частота ходов ползуна, 1/мин: 50;

Закрытая высота, мм: 600;

Габариты, мм: 4080×3040×5105;

Завод – изготовитель ЗАО “ТЯЖМЕХПРЕСС”, г. Воронеж.

*Зазор между пуансоном и матрицей.*

Размер зазора между пуансоном и матрицей зависит от формы и размеров сечений поковки в плоскости, перпендикулярной к разъему. Зазор оказывает большое влияние на качество и точность поверхности среза, изнашивание и стойкость штампа, величину потребного усилия и работы обрезки.

Величину зазора  $\delta$  между пуансоном и режущим контуром матрицы определяют из [3]:

$$\delta = 1,5 \text{ мм}$$

### Конструкция и крепление матриц.

Обрезные матрицы делают цельными или составными. В нашем случае целесообразнее применять цельную матрицу, так как поковка обладает небольшими габаритными размерами.

Режущий контур матрицы изготавливают с режущими кромками без цилиндрического пояса и в виде цилиндрического пояса высотой 1 до 1,5 толщины облоя. Второй тип режущих кромок применяют для цельных матриц.

Цельные матрицы крепят на нижней плите клином.

Размеры цельной матрицы с креплением клином показана на рисунке 8:

Толщина обрезаемого облоя – 2,9 мм;

$$b = 36 \text{ мм} ;$$

$$b_1 = 9\text{mm};$$

$$h_1 = 9\text{mm};$$

$$h_7 = 6\text{mm};$$

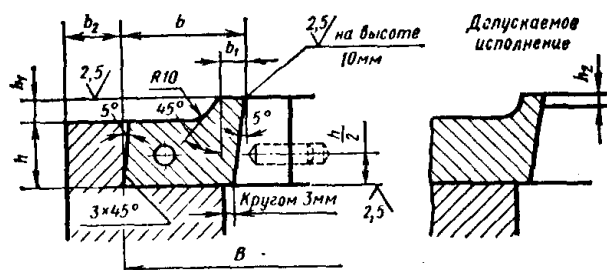


Рисунок 8 - Размеры цельной матрицы с креплением клином

На ступеньку матрицы делается канавка под литник, глубина которой равна глубине канавки в окончательном ручье штампа, а ширина – на 2 мм больше. Стенку провального отверстия в матрице выполняют с уклоном  $5^\circ$ . Провальное окно в плите под матрицей делают по нижнему контуру провального отверстия в матрице с уступом 3 мм. Габаритные размеры В и L матрицы определяют по соответствующим размерам поковки с прибавлением толщины b стенок матрицы, высоту h выбирают в зависимости от ширины В [3].

Габаритные размеры матрицы показаны:

$$B = 135,5 \text{ mm};$$

$$L = 410,5 \text{ mm};$$

### h = 40 mm;

Кованную заготовку для изготовления прямоугольной матрицы выбирают из источника [3].

Заготовка имеет размеры:

$$B = 140_{\text{MM}};$$

$$L = 450\text{mm};$$

$$H = 50 \text{ mm};$$

Материал для обрезных и правочных штампов [3]:

Матрицы и пуансоны для холодной обрезки – 8ХФ с твердостью 444-514 НВ;;

Инструмент для холодной правки – Х12М с твердостью 363-415 НВ;;

Выталкиватель – 40Х с твердостью 321-363 НВ;

В зависимости от высоты поковки и расположения облоя обрезной пуансон может быть одновременно давящим и режущим инструментом.

В нашем случае, при обрезке толстых поковок, расстояние от плоскости разреза до плоскости соприкосновения с пуансоном  $h > 5 \div 8$  мм, пуансон не входит в матрицу и является давящим инструментом.

Конструкцию опорной поверхности в пуансоне выполняют по чертежу поковки с последующей слесарной подгонкой по поковке или контрольной отливке с окончательного ручья штампа.

Ширина и длина хвостовика должны быть равными или несколько большими соответствующих максимальных размеров рабочей части пуансона. Будем применять клиновое крепление пуансона к переходной державки, так как клиновое крепление предназначено для поковок удлиненной формы.

Размеры поперечного сечения хвостовиков и пазов выбирают в зависимости от усилия прессы [3]:

$$b = 96 \text{ мм};$$

$$h = 39 \text{ мм};$$

$$b_1 = 48 \text{ мм};$$

$$b_2 = 82 \text{ мм};$$

$$h_1 = 38 \text{ мм};$$

Способ крепления пуансонов – без заплечиков.

Высоту обрезных пуансонов определяют исходя из размера закрытой высоты штампового пространства. Схема к расчету закрытой высоты штампа и пуансона показана на рисунке 9.

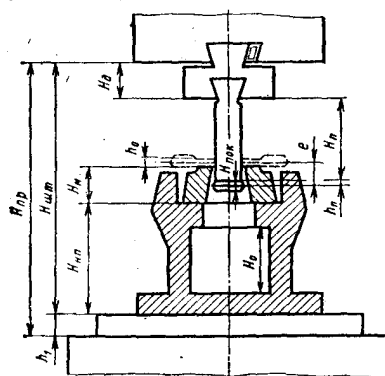


Рисунок 9 – Схема к расчету закрытой высоты штампа и пуансона



Закрытая высота штампового пространства:

$$H_{np} = H_{наиб} - H_{рег} + (15 \div 20) \text{ мм},$$

где  $H_{наиб}$  – наибольшее расстояние между столом прессы и ползуном в его нижнем положении. Для прессы номинальным усилием 3,15 МН  $H_{наиб} = 600$  мм;

$H_{рег}$  – величина регулирования расстояния между столом и ползуном [5].

$$H_{np} = 600 - 20 + 20 = 600 \text{ мм}$$

Закрытая высота штампа:

$$H_{шт} = H_{np} - h_1,$$

где  $h_1$  – толщина подкладной плиты прессы [3].

$$H_{шт} = 600 - 40 = 560 \text{ мм};$$

Величина сдвига поковки при обрезки:

$$e = (3 \div 5) h_0 = 4 \cdot 1,6 = 6,4 \text{ мм},$$

где  $h_0$  – толщина обрезаемого облоя.

Высота пуансона:

$$H_n = H_{шт} - (H_{ни} + H_m + H_{\delta}) + e - h_n,$$

$H_{ни}$  – толщина нижней плиты;

$H_m$  – толщина матрицы;

$H_{\delta}$  – толщина пуансонодержателя;

$h_n$  – размер поковки от поверхности прилегания её к пуансону до линии разреза.

$$H_n = 560 - (160 + 49 + 80) + 6,4 - 14 = 264 \text{ мм};$$

Высота окна в нижней плите:

$$H_0 \geq H_{пок} + (10 \div 20) \text{ мм},$$

где  $H_{пок}$  – наибольшая высота поковки.

$$90 \text{ мм} \geq 28,5 + 20 = 48,5 \text{ мм};$$

Условие выполняется.

Для свободной укладки поковки в штамп её максимальную высоту определяют по формуле:

$$H_{пок} \leq (H_{шт} + s) - [(H_{шт} + H_m + H_n + H_{\delta}) + (10 \div 15) \text{ мм}],$$

где  $s$  – ход ползуна прессы.

$$28,5 \leq (560 + 250) - [160 + 49 + 264 + 80 + 15] = 242 \text{ мм}$$

Условие выполняется.

*Конструкция съемника.*

Съемник применяют при холодной обрезке, если зазор между пуансоном и матрицей  $\delta < 0,5 \text{ мм}$ . Так как в нашем случае зазор больше, то съемник применять не будем.

*Конструкция штампа.*

Конструкцию штампа следует выбирать с учетом формы и размеров сечений поковки в плоскости, перпендикулярной к плоскости обрезки, формы и размеров контура обрезки и серийности производства данной поковки.

Таким образом, будем использовать штамп простого действия с креплением матрицы в нижней плите клином и удалением поковки через окно нижней плиты. Конструкция такого штампа показана на рисунке 10. Такую конструкцию применяют в серийном производстве для обрезки облоя у средних поковок.

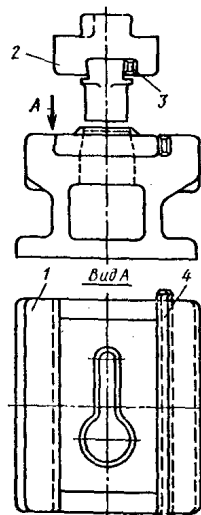


Рисунок 10 – Штамп простого действия с креплением матрицы клином и удалением поковки через окно нижней плиты

Размеры нижней коробчатой плиты для крепления матриц клином [3] ,показаны на рисунке 14:

$$L = 480 \text{ мм};$$

$$B = 300 \text{ мм};$$

$$H = 200 \text{ мм};$$

$$b_1 = 80 \text{ мм};$$

$$b_2 = 120 \text{ мм};$$

$$h = 40 \text{ мм};$$

$$h_1 = 90 \text{ мм};$$

$$B_1 = 300 \text{ мм};$$

$$B_2 = 180 \text{ мм};$$

$$B_3 = 137,5 \text{ мм} ;$$

$$A = 340 \text{ мм};$$

$$b = 185 \text{ мм} ;$$

$$h_2 = 80 \text{ мм};$$

$$h_3 = 36 \text{ мм} ;$$

$$h_5 = 75 \text{ mm}$$

Не указанные радиуса отливок 5 мм;

Материал: сталь 30Л (ГОСТ 977-75\*); твердость  $HB \leq 255$ .

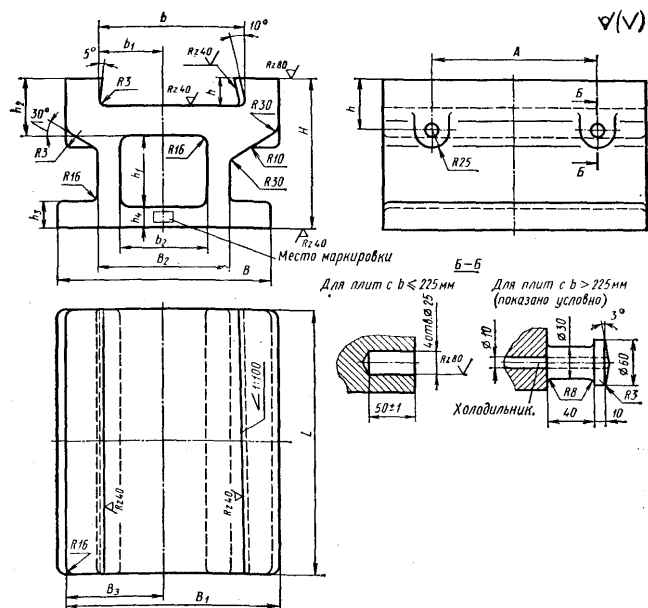


Рисунок 11 - Размеры нижней коробчатой плиты для крепления матриц клином

Размеры пуансонодержателя под клин и креплением пуансона клином [3], показаны на рисунке 12:

$$b = 90 \text{ mm} ;$$

$$b_1 = 35 \text{ mm};$$

$$b_2 = 57 \text{ мм};$$

$$h = 39 \text{ mm};$$

$$h_1 = 38 \text{ mm};$$

$$L = 400 \text{ mm} ;$$

$$B = 210 \text{ mm};$$

$$B_1 = 90 \text{ мм} ;$$

$H = 80\text{мм}$ ;

Материал: сталь 45 (ГОСТ 1050-74\*\*); твердость  $HB \leq 217$ .

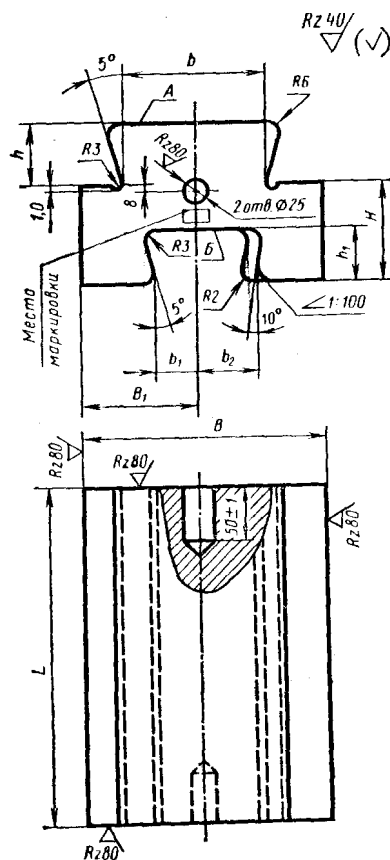


Рисунок 12 - Размеры пуансонодержателя под клин и креплением пуансона клином  
Размеры клина для крепления матрицы [3]:

$b = 25,6\text{мм}$ ;

$h = 40\text{мм}$ ;

$L = 450\text{мм}$ ;

Материал: сталь 40X (ГОСТ 4543-71\*); твердость  $HB = 285 - 363$ .

Размеры клина для крепления пуансона [3]:

$b = 30,6\text{мм}$ ;

$h = 38\text{мм}$ ;

$L = 450\text{мм}$ ;

Материал: сталь 40X (ГОСТ 4543-71\*); твердость  $HB = 285 - 363$ .

## 2.10 Очистка поверхности поковки

Для получения поковок с высоким качеством поверхности, требующих минимальной обработки резанием, необходимо очищать заготовки перед нагревом и поковки послековки и штамповки от поверхностных дефектов, окалины, ржавчины и других загрязнений (мазута, масла, песка). В зависимости от размеров поковок, а также от технических условий на изготовление последних в кузнечно-штамповочных цехах для очистки поковок и заготовок применяют различные способы и оборудование [5].

Для удаления окалины, заусенцев и мелких поверхностных дефектов применяют дробеметные и дробеструйные аппараты периодического и непрерывного действия. Область применения: для поковок любой конфигурации, кроме деталей с глубокими отверстиями малого диаметра.

При дробеметной очистке поток дроби с помощью быстро вращающихся лопаток крыльчатки дробеметной головки направляется со скоростью 70-80 м/с на очищаемую поверхность поковки. Поковки массой до 50 кг очищают в барабанах.

После дробеметной обработки твердость закалённых и отпущенных поковок повышается на 40% на глубине 0,3-0,5 мм, в результате чего увеличивается сопротивление металла истиранию и усталости во время эксплуатации, что имеет большое значение для детали типа шатун.

Для абразивной очистки поковок инструментом служат абразивные круги, которые выбирают в зависимости от материала обрабатываемой поковки и скорости обработки. Форма абразивных кругов ПП (плоские прямого профиля) по ГОСТ 2424-83.

Поковки массой до 30 кг очищают на стационарных станках.

*Технические характеристики обдирочно-шлифовального оборудования.*

Модель – E2X400/1;

Размеры шлифовального круга, мм - Ø 400×50;

Диаметр внутреннего отверстия в шлифовальном круге, мм – 127;

Зернистость шлифовального круга – 160/125;

Окружная скорость шлифовального круга, м/с – 45;

Мощность электродвигателя, кВт – 4;

Частота вращения электродвигателя, мин<sup>-1</sup> – 1500;

Расстояние между шлифовальными кругами, мм – 720;

Габаритные размеры, мм - 1070×690×1125;

Масса, кг – 420;

## 2.11 Термообработка поковок

Качество поковок и изготавливаемых из них изделий в значительной степени зависит от термообработки, которая состоит из двух стадий – предварительной и окончательной.

Целью предварительной термической обработки является: улучшение обрабатываемости металла для изготовления изделий; подготовка структуры металла для окончательной термической обработки, т.е. получение однородной мелкозернистой структуры; снятие наклепа, снижение внутренних напряжений; улучшение комплекса механических свойств.

Цель окончательной термической обработки – придание металлу требуемых механических свойств.

После штамповки на молоте поковку шатуна подвергают нормализации. Она приводит к образованию бейнитной структуры в поверхностных слоях, которая затрудняет обработку заготовок резанием. Для устранения этого недостатка поковки из легированных сталей после нормализации подвергают высокому отпуску (600-700°C) – предварительная термообработка. После такой термообработки твердость поверхности стали составляет 156-229HB

Окончательной термообработкой для поковки шатуна является цементация 900-920°C, закалка 790-800°C в масле, низкий отпуск 180-200°C на воздухе. После такой термической обработки твердость поверхности поковки 58 HRC, а сердцевины 23-28 HRC.

Такой вид окончательной обработки повышает одновременно временное сопротивление, предел текучести, относительное сужение и особенно ударную вязкость.

### 3.1 Конструирование и расчет молотового штампа

Полость окончательного (чистового) ручья выполняется по чертежу поковки. Так как поковка после штамповки охлаждается и размеры её уменьшаются, то для получения требуемых размеров поковки необходимо, чтобы размеры полости окончательного ручья были больше размеров холодной поковки на величину предполагаемой усадки.

Для стали усадка составляет 1,5% (Зв исключением тонких удлиненных быстротынувших участков поковки, для которых усадка равна 1,2 – 1%)

#### 3.1.1 Определение размеров клещевых выемок и литниковых канавок

Клещевую выемку и литниковую канавку конструируют в соответствии с указаниями приведенными в источнике [3]. Эти элементы штамповочных ручьев располагают в передней части штампа и используют их для размещения части прутка или клещей, удерживающих заготовку, а также для облегчения удаления поковки из ручья при штамповки без клещевины. Клещевую выемку и литниковую канавку используют во многих случаях для отливки контрольной фигуры ручья.

Ширина литниковой канавки:

$$b = h_0 + h_1 = 1,6 + 3,5 = 5,1 \text{ мм}$$

Ширина выемки под клещевину:

$$B = R = (1,3 \div 1,5) D_{3r} = 1,4 \cdot 40 = 56 \text{ мм}$$

Высота выемки под клещевину:

$$H = 1,2B = 1,2 \cdot 56 = 67,2 \text{ мм}$$

Глубина литниковой канавки:

$$h = \frac{h_0}{2} + h_1 = \frac{1,6}{2} + 3,5 = 4,3 \text{ мм}$$

Радиус закругления для клещевой выемки:

$$r = (0,2 \div 0,3) D_{3r} = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ мм}$$

Толщина стенки между полостью ручья и выемкой под клещевину:

$$S_1 = 35 \text{ мм}$$

### 3.1.2 Заготовительные ручки

Заготовительные ручки рекомендуется конструировать в соответствии с указаниями [3]. Они служат для грубого предварительного деформирования исходной заготовки, для придания ей формы, удобной для штамповки в штамповочных ручьях и обеспечивающей относительно малый отход металла в облой.

#### Протяжной ручей.

По расположению в штампе протяжные ручки подразделяют на прямые и направленные под углом. Мы будем конструировать штамп с прямым ручьем, так как у нас длинная, тонкая заготовка, а прямой ручей позволяет избежать прогиба заготовки. Протяжка в нём производится до упора с оставлением зазора в 5 мм.

Размеры протяжного ручья зависят от размеров заготовок: расчетной и исходной.

При протяжке с последующей подкаткой раствор  $h$  протяжного ручья:

$$h = (0,8 \div 0,9) \sqrt{\frac{V_C}{l_C}} = (0,8 \div 0,9) \sqrt{S_C},$$

где  $S_C$  - средняя площадь сечения расчетной заготовки,  $V_C$  и  $l_C$  - объем и длина протягиваемого участка.

$$h = 0,85 \sqrt{670} = 22 \text{ мм}$$

Длина протяжного ручья:

$$l = l_C + 5 = 338,5 + 5 = 343,5 \text{ мм}$$

Оптимальный (обеспечивающий наибольшую производительность при протяжке) размер  $c = (1,3 \div 1,5) D_{3Г}$  ( $D_{3Г}$  - диаметр исходной заготовки), причем меньшие значения указанных выше коэффициентов рекомендуется принимать при  $l_C > 500 \text{ мм}$ , а большие – при  $l_C < 200 \text{ мм}$ .

$$c = 1,4 \cdot 40 = 56 \text{ мм}$$

Ширина ручья  $b = (1,25 \div 1,5) D_{3Г} + (10 \div 20) \text{ мм}$ , причем большие значения коэффициента следует брать при  $D_{3Г} < 40 \text{ мм}$  и меньшие – при  $D_{3Г} > 80 \text{ мм}$ .

$$b = 1,5 \cdot 40 + 15 = 75 \text{ мм}$$

Радиусы закругления кромок  $R = 0,25c$

Радиусы закругления рабочей части (порога)  $R_1 = 2,5c$



При оставлении на конце головки длиной  $l_6$  и толщиной  $h_6$  глубина ручья равна:

$$h_1 = 1,2h_6, \text{ но не менее } 2h.$$

$$h_1 = 1,2 \cdot 40 = 48 \text{ мм}$$

Размеры протяжного ручья показаны на рисунке 17.

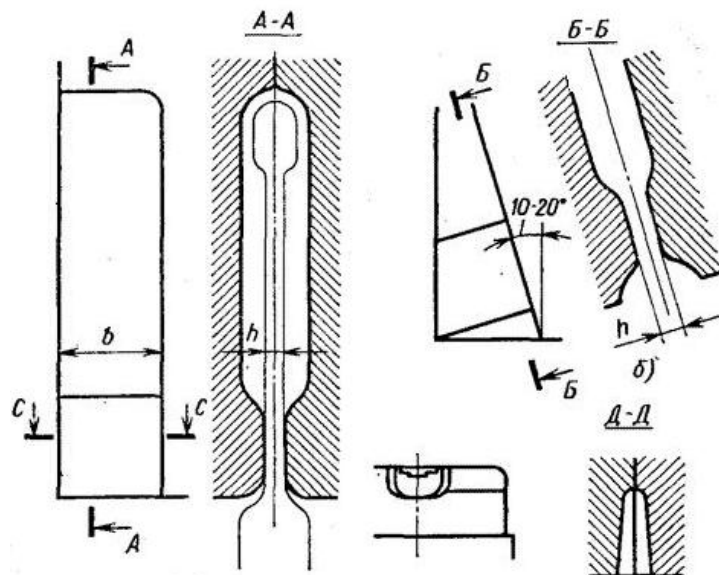


Рисунок 13 – Протяжной ручей

### Подкатной ручей.

Он служит для значительного увеличения одних поперечных сечений заготовки за счет уменьшения других и распределения объема материала вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. При обработке в ручье требуется не менее двух (максимум до восьми) ударов, причем после каждого удара заготовку кантуют на  $90^\circ$  вокруг оси. В подкатной ручей заготовка поступает после обработке в протяжном ручье, после подкатки заготовку переносят в штамповочный ручей.

Размеры профиля по высоте  $h$  зависят от  $d_3$  (диаметр соответствующего сечения расчетной заготовки) и  $d_{cp}$  расчетной заготовки, площади  $S_3$  поперечных сечений поковки с облоем и диаметра  $D_{3г}$  исходной круглой заготовки. Размеры профиля ручья по высоте сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Размеры профиля ручья по высоте.

№ сечения	Размер $d_3$ по эюре в мм	Значение коэффициента $\mu$	Высота ручья $h = \mu d_3$ в мм
1	16,14	0,75	12,1
2	42,54	1,05	31,9

3	45,58	1,05	48*
4	42,54	1,05	31,9
5	21,14	0,8	16,9
6	20,9	0,75	15,7
7	20,68	0,8	16,5
8	35,19	0,75	26,4
9	36,73	0,75	34,2*
10	35,19	0,75	27,6
11	16,14	0,75	12,1

\* - для обеспечения плавности контура головки скорректируем эти значения.

Ширину ручья вычисляют по формуле (подкатка предварительно протянутой заготовки) из [3]:

$$B = \frac{S_{3Г}}{h_k} + 10_{мм} = \frac{1256}{17} + 10_{мм} = 84_{мм},$$

где  $S_{3Г}$  - площадь поперечного сечения исходной заготовки.

Завышение ширины подкатного ручья снижает интенсивность подкачки; занижение ширины приводит к образованию заусенцев, переходящих в зажимы при ударах, следующих после кантовки заготовки. Поэтому, по практическим данным ширина ручья должна располагаться в пределах  $B = (d_{Э_{max}} + 10) \div 1,5 D_{3Г} = 45,58 + 10 \div 1,5 \cdot 40 = 65,58 \div 60$

И быть не менее:

$$B = \frac{S_c}{h_{min}} + 10_{мм} = \frac{343}{15,5} + 10_{мм} = 32_{мм}$$

Принимаем ширину подкатного ручья  $B = 65_{мм}$

Передний конец заготовки бывает, например после отрубки на ноже, измят и испорчен. Весьма важно, чтобы при последующей штамповки этот конец одновременно с подкаткой был оттянут, а затем целиком перешёл в заусенец. Для этого в конце подкатного ручья делают для оттяжки конца заготовки канавку глубиной  $a = 5_{мм}$ , шириной  $b = 30_{мм}$  и длиной  $c = 30_{мм}$ ,  $R_a = R_4 = 2,5_{мм}$ ,  $R_3 = 5_{мм}$ ,  $R_4 = 10_{мм}$ , при  $D_{3Г} = 30 \div 60_{мм}$ .

$$K_1 = h_{max} - h_k = 31_{мм}$$

$$K_2 = \frac{34,2 - 16,5}{2} = 25,4_{мм}$$

$$R_1 = (1,5 \div 3) K_1 + 5 = 2 \cdot 31 + 5 = 67_{мм}$$

$$R_2 = (1,5 \div 3) K_2 + 5 = 2 \cdot 25,4 + 5 = 55,8_{мм}$$

$$R = 0,1D_{3Г} + 6 = 0,1 \cdot 40 + 6 = 10 \text{ мм}$$

$$n = 0,2D_{3Г} + 6 = 0,2 \cdot 40 + 6 = 14 \text{ мм}$$

$$m = (1 \div 2)n = 1,5 \cdot 14 = 21 \text{ мм}$$

$$R_g = 7 \text{ мм}$$

$$l = 290 \text{ мм}$$

$l_1 = 53 \text{ мм}$  - определяется графически из условия плавного сопряжения по чертежу ручья.

Размеры подкатного ручья показаны на **рисунке 18**.

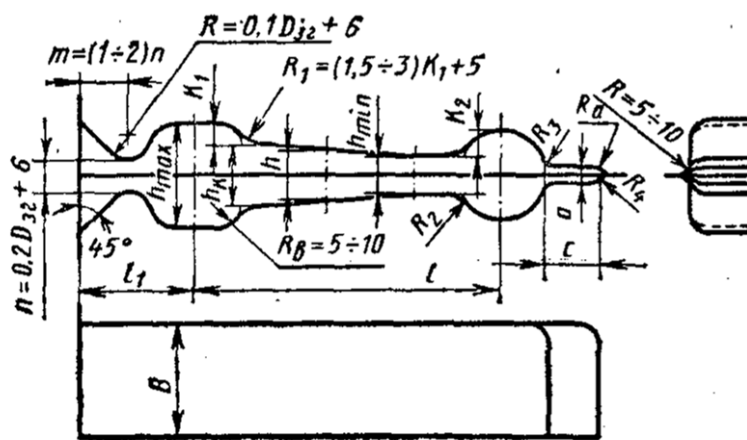


Рисунок 14 – Подкатной ручей

### 3.2. Конструирование молотового штампа

Ручьи на поверхности разъема штампа координируют относительно центра штампа. Штамповочный ручей размещают в центре штампа, а заготовительные ручьи – по бокам.

В зависимости от принятой комбинации ручьев (протяжной, подкатной, окончательный) выбираем схему их расположения на зеркале штампа. Она показана на **рисунке 5**.

Стенки между полостями ручьев и боковыми гранями штампа, а также между ручьями должны обладать достаточной прочностью. Толщина стенок зависит от глубины полости ручьев, уклона прилегающих стенок ручьев и радиуса перехода от стенки к дну полости. Расстояние между ручьями определяется с помощью вспомогательной величины  $T$ , которая зависит от тех же факторов, что и толщина стенки. Значение  $T$ , полученные эмпирическим путем, определяются по монограмме [3].

Глубина полости подкатного ручья составляет 19,3мм, а глубина полости чистового ручья 14,3мм. Следовательно, менее глубоким ручьем будет чистовой ручей поэтому  $\alpha_1 = \alpha'_1 = 7^\circ$ ,  $h = 14,3\text{мм}$ ,  $R = R' = 2\text{мм}$

По монограмме определяем  $T = 30\text{мм}$

Толщина стенки между подкатным и окончательным ручьями определяется по формуле:

$$s_2 = T \cos \alpha_2,$$

где  $\alpha_2 = 5^\circ$  - уклон более глубокой полости,  $T$  – определена по размерам  $h$ ,  $R'$ ,  $\alpha'_1$  ручья с меньшей глубиной.

$$s_2 = 30 \cos 5^\circ = 30\text{мм}$$

Для подкатного ручья  $\alpha_2 = \alpha'_2 = 5^\circ$ ,  $h = 19,3\text{мм}$ ,  $R = R' = 8\text{мм}$ , следовательно,  $T = 35\text{мм}$

Толщина стенки между подкатным ручьем и гранью штампа определяется по формуле:

$$s_1 = T = 35\text{мм}$$

Глубина протяжного ручья составляет 24мм, поэтому  $T = 30\text{мм}$  (определяем по данным окончательного ручья). Таким образом, расстояние между протяжным и окончательным ручьем составляет  $s'_1 = T = 30\text{мм}$ .

Нанеся размеры ручьев и расстояния между ними на чертеж, получим габаритные размеры штампа, показанные на рисунке 15.

Допустимые значения расстояний между центрами:

$\Delta l_n \leq 0,1l_n$ ;  $\Delta b_n \leq 0,1b_n$ , где  $\Delta l_n, \Delta b_n$  - расстояния между центром штампа и штампового кубика по длине и ширине соответственно;  $l_n, b_n$  - длина и ширина штампового кубика соответственно.

$0 \leq 53,7$  и  $12,5 \leq 36$  - соотношения выполняются.

Площадь соударения штампов не должна быть меньше допустимой (заштрихована область на рисунке 15). Ее величина зависит от массы падающих частей молота и массы штампа. Мелкие штампы выдерживают большие удельные усилия, поэтому их площадь соударения можно уменьшить.

Для мелких штампов принимают площадь соударения не менее  $150 \text{ см}^2$  на 1т массы падающих частей молота, т.е.

$$F_c \geq 150 \text{ см}^2 \cdot G$$

$$1034 \geq 150$$

Штамп по площади соударения проходит.

Высоту кубика выбирают с учетом требуемой прочности штампа и необходимости его возобновления. В первом приближении высоту кубика можно определить в зависимости от

высоты  $h_{\max}$  наиболее глубокой полости штампа. При небольшой глубине полости ( $h_{\max} = 10 \div 25 \text{ мм}$ ) высота кубика  $H_{\min} = (6 \div 10)h$ .

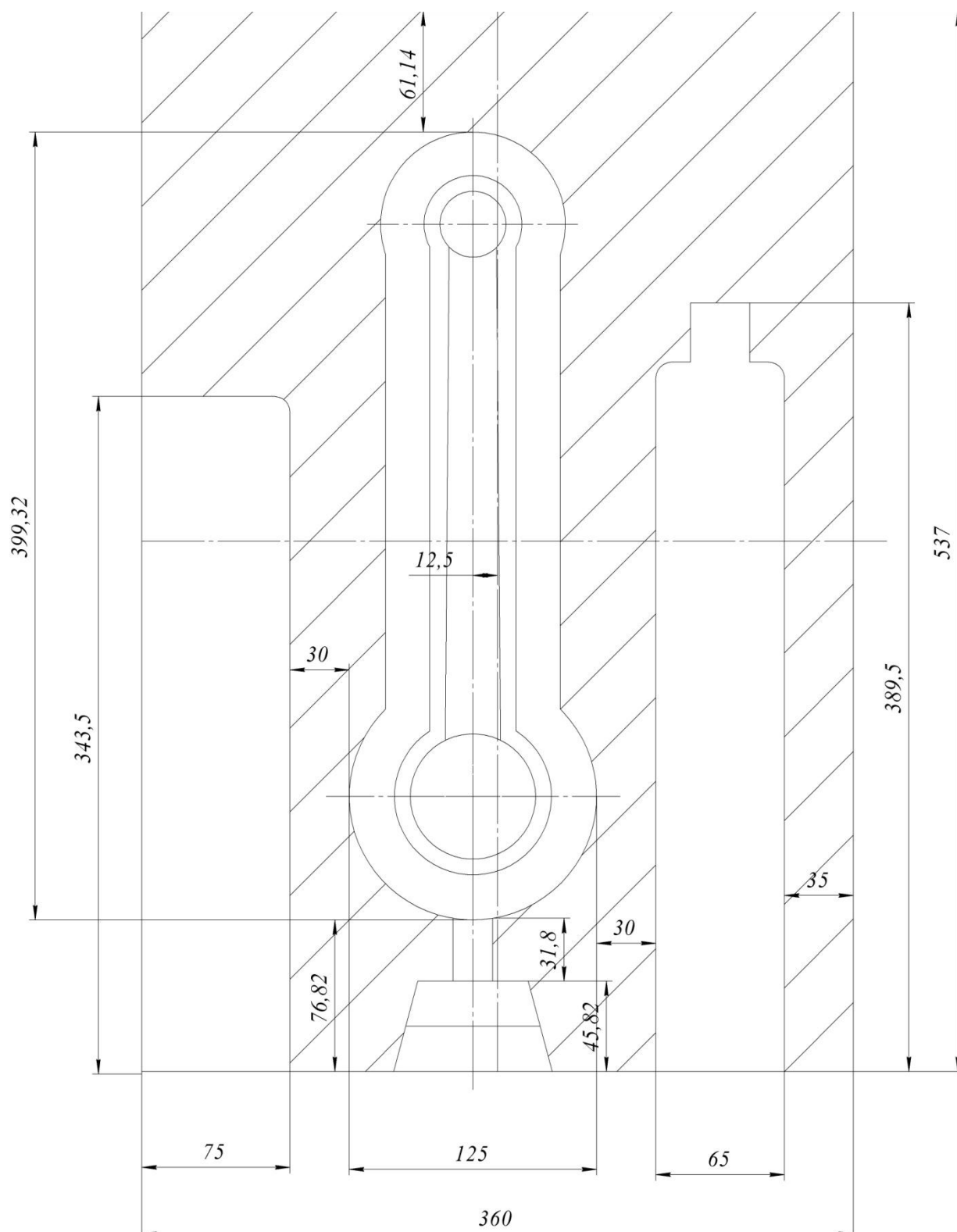


Рисунок 15 – Габаритные размеры штампа

Самым глубоким ручьем является протяжной с  $h_{\max} = 24\text{мм}$ , поэтому  $H_{\min} = 6 \cdot 24 = 144\text{мм}$

Суммарная высота верхней и нижней части штампа должна быть больше закрытой высоты штампового пространства в 1,25 раза, что необходимо для последующего возобновления штампа.

Закрытая высота штампового пространства  $H=220\text{мм}$  [5], а суммарная высота верхней и нижней части равна 288 мм и превышает  $H$  в 1,3 раз, поэтому возможно последующее возобновление штампа.

Используя размеры, полученные расчетом, по ГОСТ 7831-78 подбирают штамповый кубик с размерами  $160 \times 360 \times 390$ .

На выбранной плоскости кубика ручки располагают вдоль волокон, так как в штампе нет глубоких полостей. Расположение волокон в штампе показано на рисунке 16.

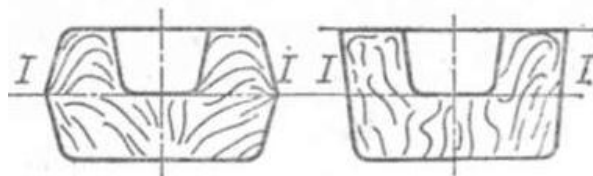


Рисунок 16 – Продольное расположение волокон в штампе

Выбрав размеры штампового кубика, проверяют, разместится ли этот кубик между стойками молота, достаточна ли его высота, соответствует ли масса верхней части штампа массе падающих частей молота.

### 3.3 Эксплуатация и ремонт штампов

На основании требований, предъявляемых к молотовым штампам, выберем материал штамповых кубиков. Для цельных открытых молотовых штампов при массе падающих частей молота 0,63т применяют марку 5ХНМ. Твердость рабочей части 388-461НВ и опорной части до 302НВ.

Нагрев штампов проводят с целью обеспечения оптимальных условий формоизменения поковок и повышения стойкости штампов.

Штампы паровоздушных штамповочных молотов изготовленных из марки 5ХНМ нагревают до  $200-300^{\circ}\text{C}$ . Подогрев проводят с регламентируемой скоростью. Наилучшим подогревом является индукционный. Переносной индуктор устанавливают между частями нагреваемого штампа. Нагрев длится около 0,5ч. Если перерыв в работе штампов составляет

более 1ч., то рекомендуется их дополнительно подогревать. Контроль нагрева выполняют переносной термопарой.

Охлаждение штампов проводят с целью уменьшения разогрева поверхности гравюры штампов во время работы. Интенсивное охлаждения осуществляется смазкой на водной основе.

Смазку штампов проводят для уменьшения трения и теплопередачи при деформировании и улучшения извлечения поковок из штампа после штамповки, что способствует повышению стойкости штампов.

Смазка: Водный коллоидно-графитовый препарат В-1 [5].

Способ нанесения на штамп механическое распыление.

Одновременно со смазкой из штампов выдувается окалина. Для удаления окалины используется обычно сжатый воздух, давлением не ниже 0,4 МПа, подаваемый из сопла обдувки окалины.

Изнашивание штампов происходит под воздействием разнородных процессов, протекающих на поверхности гравюры и внутри материала штампа.

Основными видами износа являются истирание, смятие и разгар. Они и определяют в основном стойкость штампов.

*Истирание* – отрыв частичек металла штампа. Истиранию подвергается мостик облойной канавки, что часто является причиной выхода штампа из строя.

*Смятие* – Деформация отдельных участков штампа, где имеют место высокие давления и местный сильный разогрев металла штампа. Деформация молотовых штампов может проходить в плоскости соударения при перегреве штампов.

*Разгар* – образование сетки термических трещин на поверхности гравюры. Это наиболее частый вид износа.

В нормальных условиях эксплуатации в штампах имеет место три стадии износа: приработка (быстрый износ ручья), установившейся (медленный) износ и прогрессирующий износ (штамп быстро выходит из строя).

Стойкость штампов измеряют числом изготовленных из них поковок.

Стойкость молотовых штампов ориентировочно определяют по формуле

$$Z = \frac{A}{G^m},$$

где А и m – коэффициенты, значения которых равны: 4500 и 0,35/2; G – масса поковок, кг

$$Z = \frac{4500}{1,4^{0,35}} = 4000 ;$$

Расход штамповых заготовок (кг) на 1 т поковок:

$$N = \frac{1000Q}{(n+1)GZ} = \frac{1000 \cdot 0,16 \cdot 0,36 \cdot 0,39}{(2+1) \cdot 1,4 \cdot 4000} = 0,001 \text{ кг};$$

где  $Q$  - масса комплекта штамповых заготовок, кг;  $n$  – число возобновлений штампа до полного износа;  $G$  – масса поковки, кг;  $Z$  – стойкость штампа до возобновления, шт.

Основные способы повышения стойкости штампов:

применения прогрессивных методов изготовления штампов и химико-термической обработки;

эксплуатация штампов на оптимальных режимах, обеспечивающих необходимую температуру штампа;

установление тщательного учета стойкости штампов с обязательным выяснением причин поломок, малой и высокой стойкости штампов;

**Ремонт и возобновление штампов.** Текущий ремонт штампов выполняют либо на рабочих местах, либо в мастерской. Мелкие дефекты устраняют без монтажа штампов.

После текущего ремонта проверяют размеры очередной поковки.

Капитальный ремонт штампов необходим в том случае, когда штамп полностью изношен или сломан и подлежит возобновлению.



## 4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1 Контроль за качеством поковок

#### 4.1.1 Виды брака

##### **Брак, возникший от исходного материала.**

*Риски* – мелкие, просматриваемые до дна царапины на поверхности поковок глубиной 0,2-0,5 мм, возникают при прокатке металла валками, имеющими задиры и заусенцы.

*Волосовины* – тонкие (волосные), не просматриваемые до дна трещины на поверхности поковок глубиной 0,5-1,5 мм, возникают в следствии раскатки в длину подкорковых газовых пузырей слитка при прокатке металла

*Закаты* – заусенцы, закатанные в виде диаметрально противоположных складок глубиной более 0,5 мм, возникают от неправильной калибровки или вследствие изнашивания ручьев прокатных валков

*Плены* – застывшие на стенках изложницы брызги жидкой стали, раскатываемые при прокатке в отслаивающиеся с поверхности пленки толщиной до 1,5 мм; после штамповки остаются на поверхности поковок.

*Расслоения* - вытянутая на значительную длину при прокатке слитка усадочная раковина или рыхлость, края которой при штамповке выжимаются в заусенец и после его обрезки обнаруживается дефект

*Инородные включения* – попавшие в жидкую сталь шлаки, песок и другие посторонние включения; понижают прочность деталей и могут приводить к поломкам инструмента при обработке резанием

*Флокены* – скопление извилистых мельчайших трещин, образующихся вследствие объемных изменений в процессе охлаждения слитков и заготовок, при которых не растворившийся водород создает в микрообъемах давление, превышающее прочность стали

*Несоответствующая марка стали* – не выдерживание химического состава при выплавке стали или перепутывание сталей различных марок при прокатке, хранении на складе или в цехе.

*Несоответствующие размеры профиля* – приводят к недоштамповке, неполной фигуре или зажимах при штамповке.

##### **Брак, возникающий при резке заготовок.**

*Косой срез* – при увеличенном зазоре между ножами, несоответствие вырезов в ножах разрезаемому профилю или неправильном угле между разрезаемой штангой и передней плоскостью ножей.

*Заусенцы и искривление конца заготовки* – вследствие чрезмерного зазора между ножами

*Грубый срез или скол с вырывом металла* – при малом зазоре между ножами.

*Торцевые трещины* – образуются сразу или через 2-6 ч после резки вследствие больших остаточных напряжений при смятии ножом, главным образом у круглых крупных профилей. Во избежания трещин легированную и высоколегированную сталь перед резкой на ножницах подогревают до 300-500°C.

*Несоответствие заготовки по длине* – вследствие неправильной установки или недостаточно жесткого крепления упоров, а также неполной подачи штанги до упора при резке.

#### **Брак, возникающий при нагреве заготовок.**

*Недогрев* – недостаточная температура в объеме заготовки вследствие чрезмерной скорости нагрева, недостаточной выдержки, или температуры в печи, приводит к пониженной пластичности металла, образованию трещин при штамповке.

*Перегрев* – нагрев заготовок или окончание их штамповки при температурах, значительно превышающих оптимальную.

*Пережог* – окисление или оплавление границ зерен стали с полной потерей пластических свойств возникает в результате длительного окислительного нагрева при высоких температурах (1300-1500°C). Поковки с пережогом исправлению не подлежат.

*Окалина* – слой окисленного металла на поверхности заготовок, достигает 2-3% массы нагреваемых заготовок. Не удаленная с поверхности окалина оставляет вмятины на поковках и ускоряет изнашивание штампов.

*Обезуглероженная поверхность* – дефект, вызванный выгоранием углерода, в поверхностных слоях поковки, которые могут превышать фактический припуск на обработку. Приводит к снижению усталостной прочности деталей и твердости термообработанных поверхностей.

#### **Брак возникающий при штамповке.**

*Вмятины* – следы заштампованной и затем удаленной с поверхности окалины глубиной до 3 мм.

*Забоины* – механические повреждения поволоков при извлечении их из штампа в случае застревания, при переброске горячих поволоков или попадание посторонних предметов в обрезные штампы.

*Лом-бой* – неисправимое повреждение поковки, получившей удар, при смещении ее с нижней фигуры штампа при штамповке или обрезке заусенца.

*Незаполнение фигуры* – отклонение от заданных геометрических размеров поковки вследствие незаполнения чистового ручья штампа у выступов, углов, закруглений и ребер.

*Недоштамповка* – увеличение всех размеров поковки сверх допуска в направлении, перпендикулярном к основной плоскости разъема

*Перекося* – смещение сверх установленного допуска одной половины поковки относительно другой по плоскости разъема.

*Зажим* – Заштампованная складка в результате неправильного течения металла в чистовом ручье или закатывание заусенцев, полученных при неправильном выполнении первых переходов штамповки.

*Заусенец* – несрезанный остаток облоя при плохой установке и подгонке штампов, либо при смещении поковки в обрезной матрице.

*Кривизна* – отклонение осей и плоскостей поковки от их правильного геометрического положения.

*Ослабление размера* – недостаток припуска на обработку резанием или уменьшение (ослабление) рабочего сечения детали в необработанных местах.

*Отклонение по длине* – следствие разной температурной усадки по объему поволоков при штамповке или нестабильности длины заготовок.

#### **Брак вследствие неправильного конструирования штампа.**

Характеризуется систематической повторяемостью одного и того же вида брака с высоким процентом отбраковки.

*Недостаточный припуск на обработку* – проявляется в виде «черноты» после обработки резанием.

*Негодная макроструктура* – неправильное направление волокна в основных рабочих сечениях поковки.

*Систематический перекося штампов* – происходит при неправильной линии разъема и отсутствие в штампе замкового устройства.

*Систематическое незаполнение фигуры штампа* – следствие неправильного сочетания размеров предварительного и окончательного ручьев штампа и некачественной отделке чистового ручья.

*Невыдерживание размеров от заданной базы* – следствие несогласования баз кузнечной и механической обработки.

#### **Брак при термической обработке.**

*Недостаточная или повышенная твердость* – результат неправильного выполнения операций и несоблюдения режима термической обработки, а также несоответствия химического состава стали.

*Пестрота твердости* – неравномерная твердость в разных точках поковок вследствие нарушения режима термической обработки, местного обезуглероживания.

*Закалочные трещины* – при чрезмерной скорости охлаждения при закалке, несоответствие химического состава стали.

#### **Брак при очистке поковок от окалины.**

*Остатки окалины* – следствие недостаточной очистки или применение несоответствующих способов очистки.

*Забоины и вмятины* при очистке – результат совместной очистки в барабанах или бробеструйных установках крупных и мелких поковок.

#### **Брак, выявляемый обработкой резанием.**

*Чернота на обрабатываемых поверхностях* появляется при недостаточном припуске на обработку или кривизне поковки.

*Вмятины* – углубления от заштамповки окалины, глубина которых превышает фактический припуск на обработку.

*Тонкая стенка* – при сверлении отверстий или обработке плоскостей поковок, имеющих перекося по плоскости разреза, кривизну и отклонение по длине.-

### **4.1.2 Контроль штампованных поковок**

Контроль поковок является неотъемлемой частью технологического процесса штамповки и включает в себя проверку размеров и формы элементов и их механической прочности.

**При измерении размеров поковки** необходимо соблюдать правило единства базы. Базой для измерения поковки являются те черные точки её поверхности, которыми поковка фиксируется в приспособлениях для обработки резанием. Для проверки размеров поковки применяют универсальные (штангенциркули, кронциркули, индикаторы и т.п.) и специальные (скобы, шаблоны и т.п.) измерительные инструменты, а также контрольные приспособления.

**Контроль механической прочности поковок** включает химический и металлографический анализы, механические, магнитные и другие специальные испытания поковки, а также выявление внешних и внутренних дефектов.

**Контроль химического состава** стали производят при приемке поставляемого на завод металла, сдаче ответственных поковок, исследовании причин брака. Контроль поковок будем проводить выборочно химическим анализом.

**Контроль качества термической обработки** поковки включает два этапа: контроль выполнения режимов термической обработки и контроль качества обработки после неё.

Для выполнения первого этапа термические печи оборудуют пирометрами (термопарами) с самописцами, терморегуляторами.

Второй этап осуществляется механическими испытаниями в лаборатории.

**Выявление внешних дефектов** производят визуальным осмотром поковок непосредственно у штамповочного агрегата.

**Для выявления внутренних и внешних дефектов** поковок ответственного назначения применяют также магнитную дефектоскопию.

## 4.2 Организация рабочего места и механизация штамповочных операций

Состав и порядок расположения оборудования на рабочих местах зависит прежде всего от характера изготавливаемых поковок и принятого технологического варианта их изготовления. Молоты – наиболее универсальное штамповочное оборудование, позволяющее изготавливать поковки разнообразные по конфигурации, сложности и размерам. Это приводит к большому разнообразию существующих в молотовых отделениях технологических вариантов штамповки и, следовательно, к разнообразию организации рабочих мест. Необходимо учитывать, что органы управления паровоздушным штамповочным молотом (педаль) находится справа, поэтому наиболее правильным и удобным будет тот порядок расположения оборудования в агрегате, когда печь находится с левой стороны, а обрезающий пресс – с правой стороны молота.

При работе образующаяся окалина должна удаляться со штампа после каждого цикла штамповки. Поэтому каждое рабочее место у молота должно быть оборудовано приспособлением (ручное или автоматическое) для сдува окалины и нанесения смазки.

Если технологическим процессом предусматривается холодная обрезка заусенца, то обрезающий пресс не включается в агрегат.

Рабочее место штамповки мелких поковок различной формы из штучных заготовок на штамповочном молоте. На рисунке 17 показана планировка рабочего места. Такая планировка применяется в серийном производстве при штамповке легких молотовых поковок, требующих холодной обрезки заусенца. Исходный материал – мерная заготовка из сортового проката

массой до 2 кг. Оборудование: индукционная нагревательная печь, паровоздушный штамповочный молот с массой падающих частей 1 т.

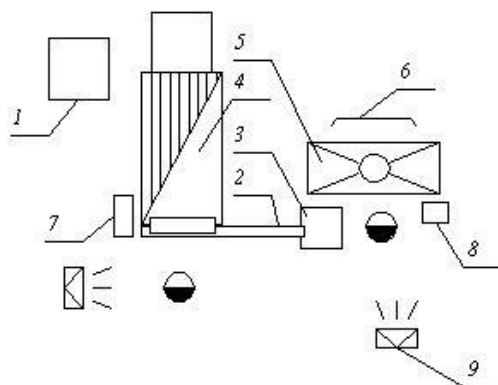


Рисунок 17 - Планировка рабочего места:

1 – тара с заготовками; 2 – склиз; 3 – приемный столик; 4 – индукционная печи; 5 – молот; 6 – окалиноуловитель; 7, 8 – бачки с охлаждающей жидкостью; 9 – вентиляторы.

Автоматизация позволяет повысить производительность штамповочного оборудования за счет сокращения цикла штамповки, высвободить рабочих за счет интенсификации технологии штамповки, повысить безопасность труда.

#### **Автоматизация и механизация заготовительных операций.**

Серийно выпускаемый комплекс оборудования для холодной отрезки заготовок из сортового проката. Он включает в себя сортовые кривошипные ножницы, механизированный стеллаж, наклонный роликовый конвейер [5].

#### **Автоматизация и механизация нагрева заготовок и их транспортирования к штамповочным агрегатам.**

При индукционном нагреве заготовок применяют магазины, куда заготовки складывают в ориентированном положении. Для транспортирования нагретых мелких и средних по размерам и массе заготовок к штамповочному агрегату применяют склизы – наклонные лотки. Лотки изготавливают из стальных листов или чугунных плит толщиной 4-6 мм в форме желоба с бортами. Угол наклона лотка для заготовок, перемещающихся за счет скольжения, 14-40°, за счет качения 7-10°.

#### **Смазывание и охлаждение штампов.**

На штамп наносят смазочный материал, который позволяет уменьшить теплообмен между деформируемым металлом и штампом, создает гидродинамические условия течения металла, обеспечивающие уменьшение изнашивания штампа и заполнение его объема. При нанесении смазочный материал также охлаждает штамп.

## 5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКОВКИ В Unigraphics.

После запуска системы Unigraphics на экране появляется большое окно, которое называют главным окном. Интерфейс системы имеет стандартные элементы управления, характерные для программ, работающих в операционной системе Windows (рисунок 1).

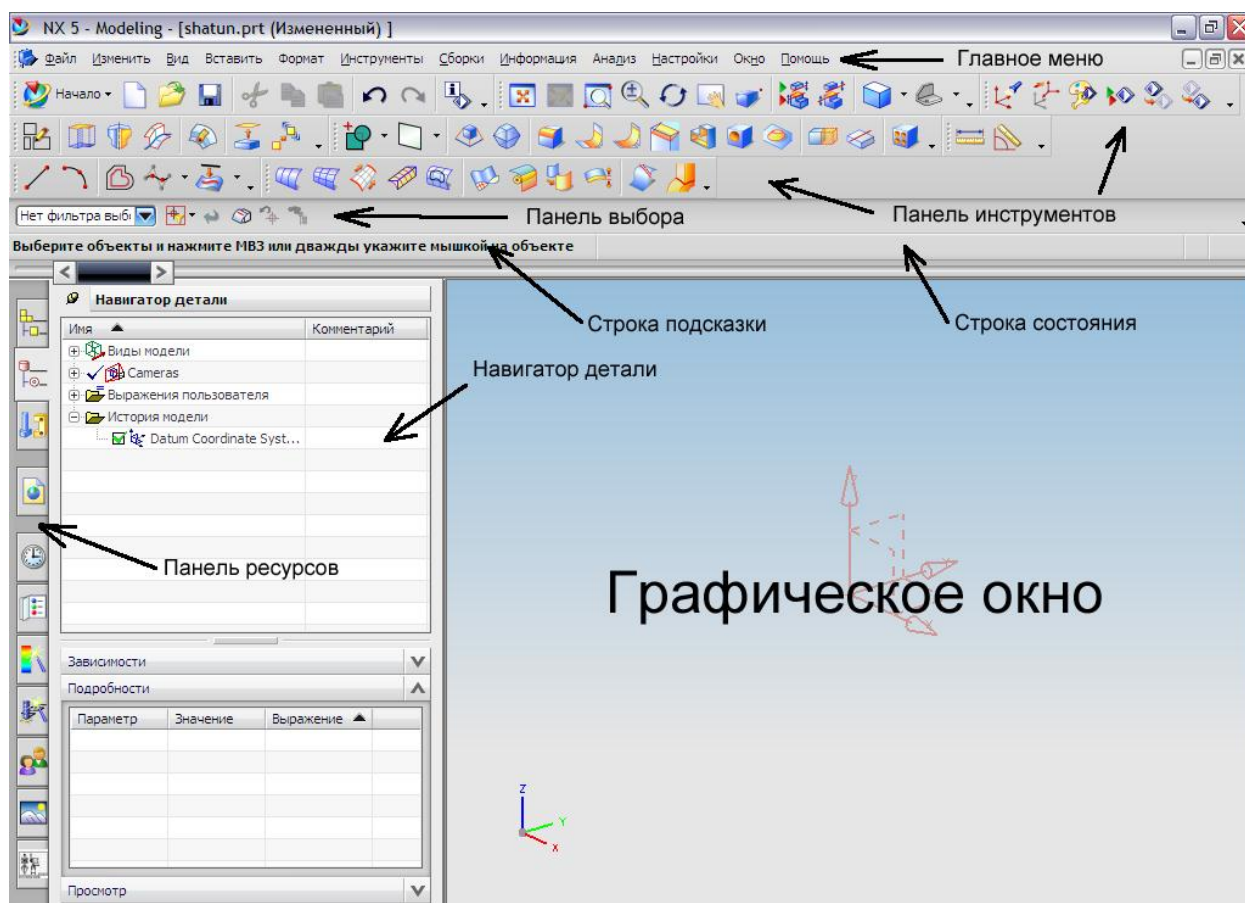


Рисунок 1 – Главное окно системы

Необходимо отметить наличие строки подсказки и состояния, находящейся под панелью инструментов. В строке подсказки выводится сообщение о том, какое действие необходимо выполнить в данный момент.

При первом сеансе работы необходимо настроить интерфейс системы. Для этого в панели инструментов выбираем закладку «Роли» и устанавливаем роль «Расширенные с полными меню» (рисунок 2).

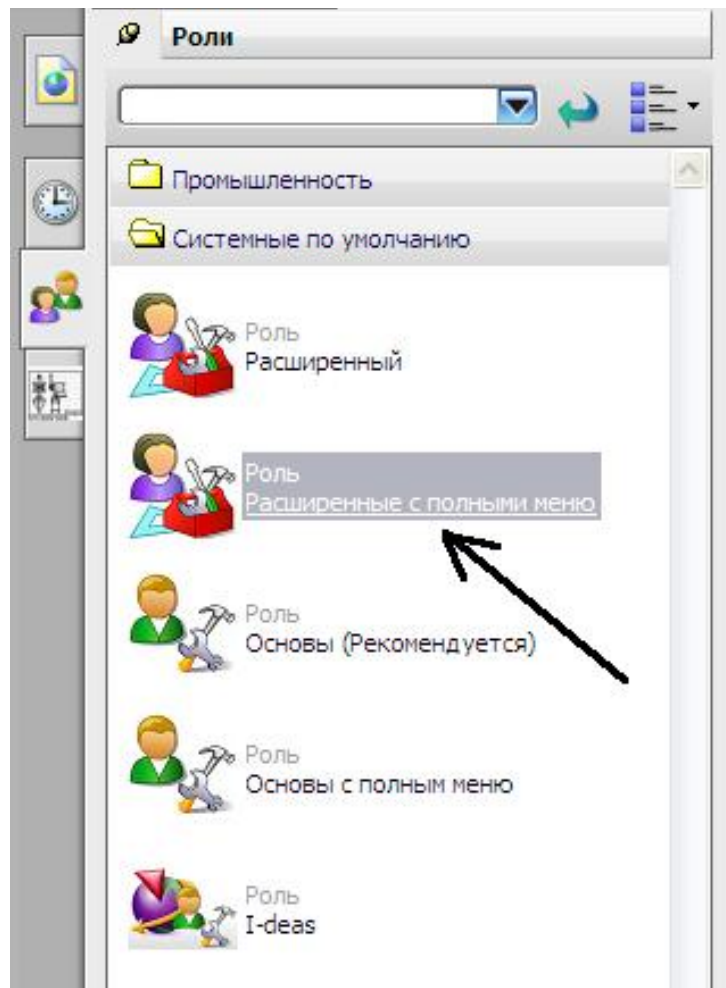



Рисунок 2 – Выбор роли

Работу в Unigraphics начинаем с создания нового файла. В главном меню выбираем опцию *Файл* → *Новый* или иконку  из панели инструментов. В окне «Имя» появившегося меню (рисунок 3) набираем shatun (использование кириллицы не допускается), а в окне «Папка» указываем путь, куда будет сохраняться файл (папка должна быть предварительно создана). Нажимаем ОК.

После создания нового файла главное окно системы изменяется: в панель инструментов выводятся кнопки быстрого доступа к элементам построения, в панели ресурсов загружается навигатор детали, появляется панель выбора (рисунок 1).



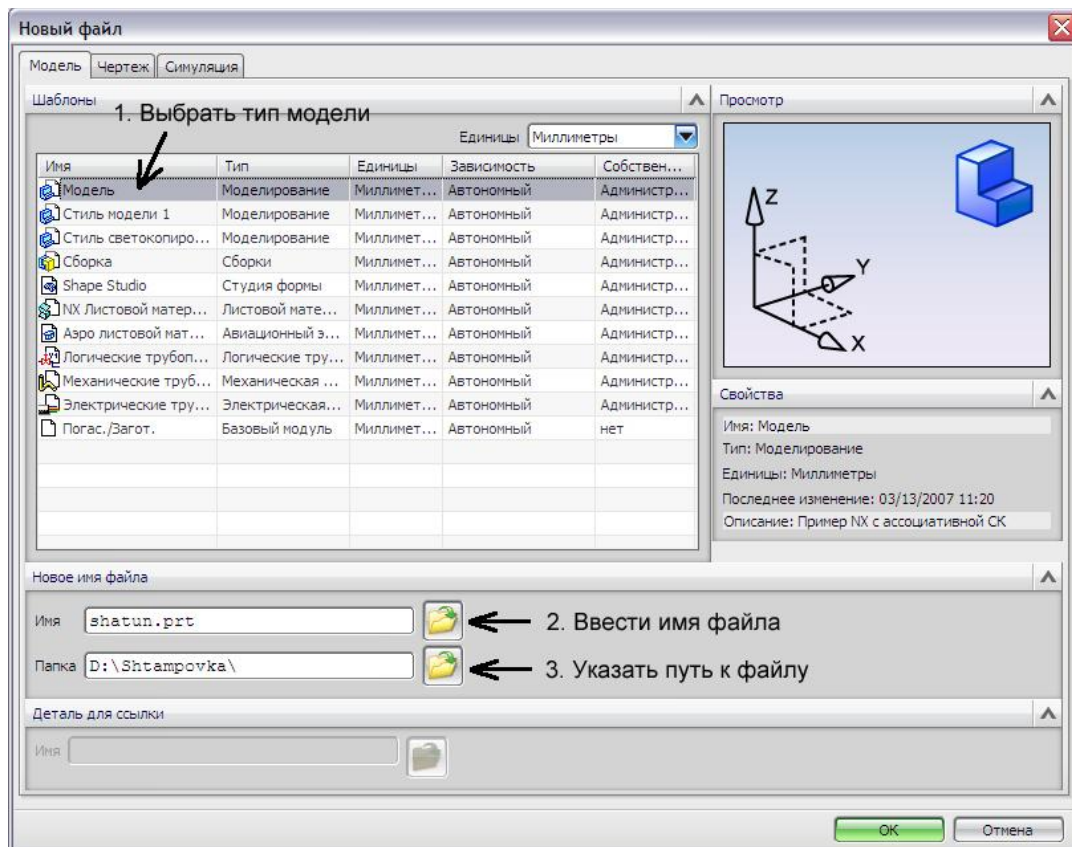



Рисунок 3 – Меню создания нового файла

#### Создание эскиза детали

В главном меню выбираем *Вставить* → *Эскиз* или иконку  из панели инструментов. Следующим шагом необходимо выбрать плоскость, на которой будет создан эскиз. По умолчанию выбрана плоскость XY, соглашаемся и нажимаем ОК (рисунок 4).

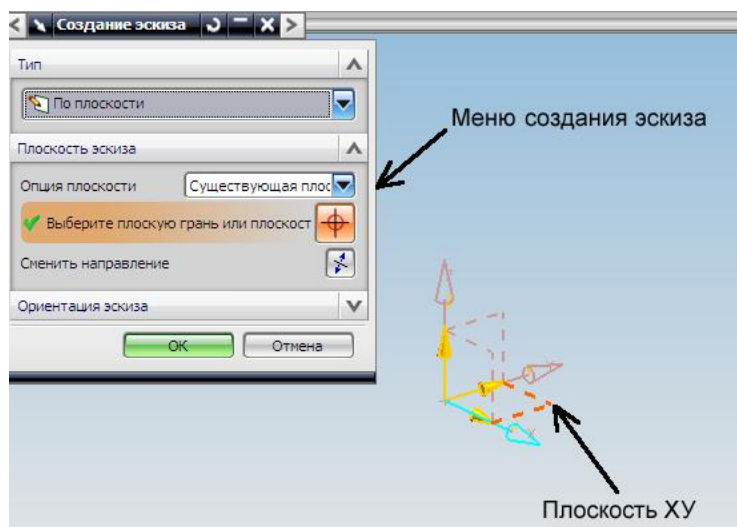



Рисунок 4 – Создание эскиза

Теперь все иконки в панели инструментом изменились – добавились новые и остались только те, использование которых возможно при построении эскиза. Сразу после создания

нового эскиза автоматически включается меню «Профиль» (непрерывный ввод объектов – дуг и прямых), в данном случае его необходимо отключить.

Затем можно приступить к эскизным построениям. В главном меню выбираем *Вставить* → *Окружность* или иконку  на панели инструментов. Создаем 2 произвольные окружности – любого радиуса и расположенные в любом месте чертежа (рисунок 5).

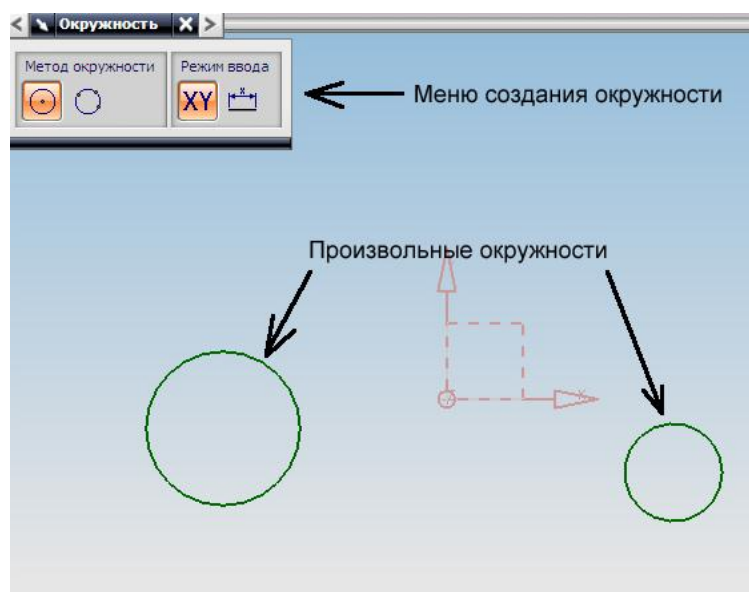



Рисунок 5 – Создание окружности

Создадим вспомогательную прямую, которая будет является осью симметрии эскиза. В главном меню выбираем *Вставить* → *Прямая* или иконку  на панели инструментов, появляется меню «Прямая». Для создания прямой необходимо указать 2 точки – центры окружностей. При подведении курсора к центру окружности, она подсвечивается и рядом с курсором появляется значок окружности (рисунок 6). Это значит, что привязка по центру окружности стала активной, и начальная точка прямой будет находиться по центру окружности. Нажимаем левую кнопку мыши (ЛКМ). Аналогичным образом выбираем положение конечной точки – прямая построена.

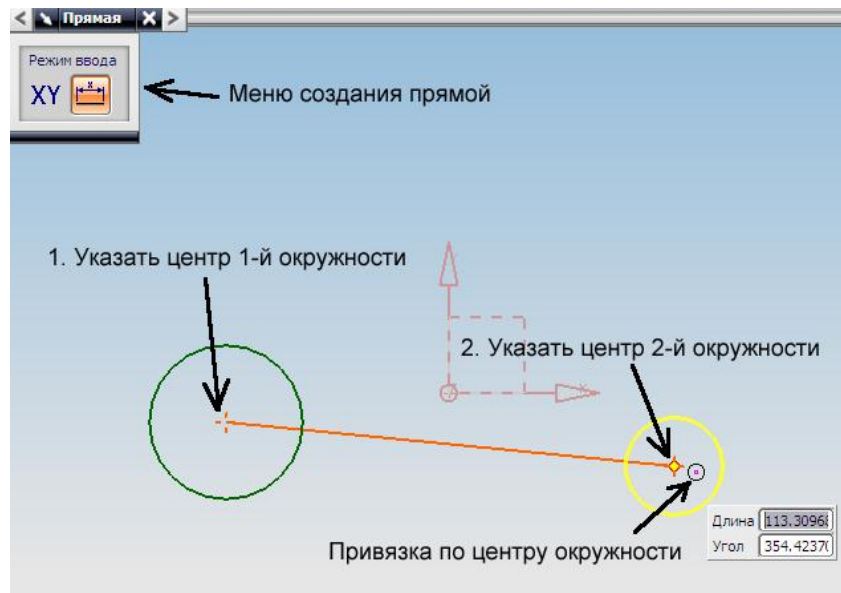




Рисунок 7 – Создание прямой

Теперь необходимо преобразовать построенную прямую во вспомогательную. Вспомогательная прямая отличается от обычной тем, что она не принимает участия в таких операциях как вытягивание, заметание, вращение и т.д., а нужна только для удобства

построения элементов эскиза. Выбираем иконку  на панели инструментов, указываем прямую и нажимаем ОК (рисунок 8). Отображение кривой сменилось со сплошной линии на штрихпунктирную.

Наложим на вспомогательную прямую ограничение – горизонтальность. В главном

меню выбираем *Вставить* → *Ограничения* или иконку  на панели инструментов, при этом в строке состояния появляется количество ограничений, необходимых для полного определения эскиза (в данном случае эскиз имеет 6 степеней свободы). Выбираем вспомогательную прямую, появляется меню «Ограничения», в котором указываем

ограничение «Горизонтальность», иконка  (рисунок 9). Прямая становится горизонтальной.

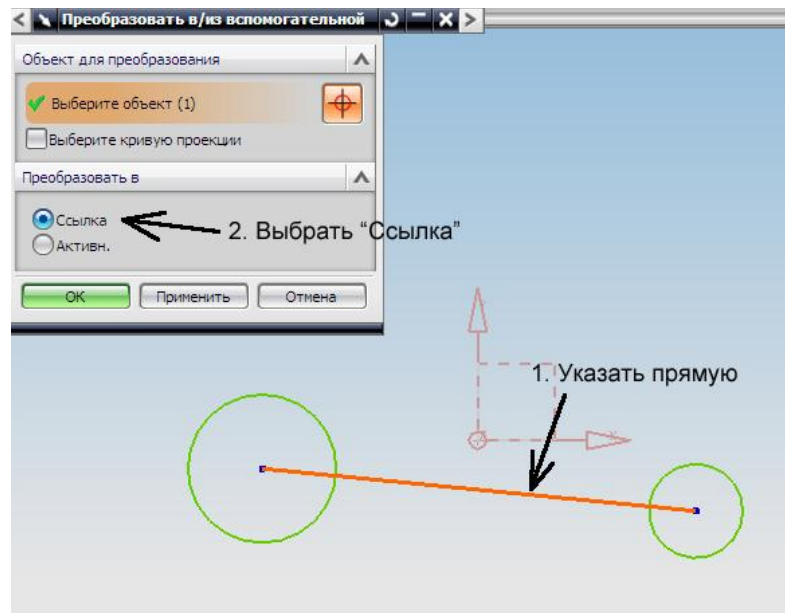


Рисунок 8 – Преобразование прямой во вспомогательную

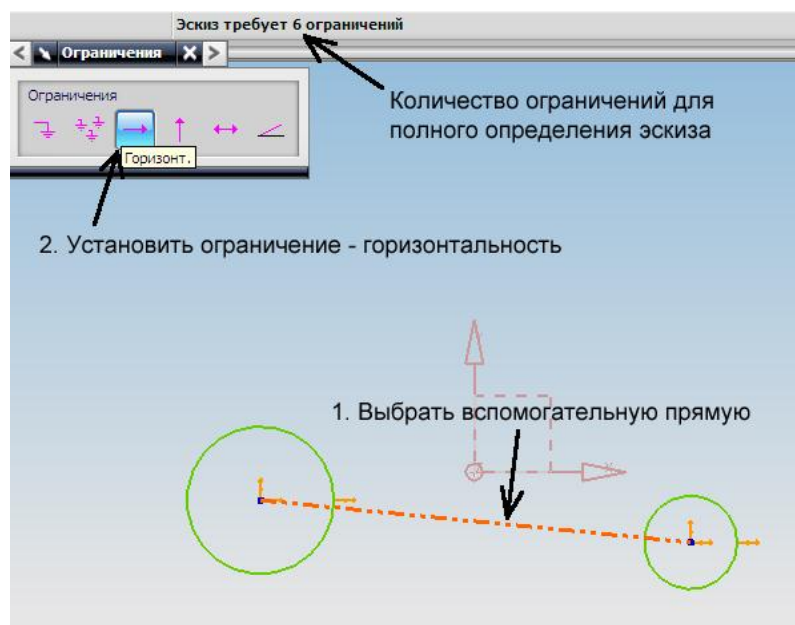


Рисунок 9 – Наложение ограничения «Горизонтальность»

Зафиксируем эскиз относительно плоскости (поместим центр 1-й окружности в начало координат), для этого, не выходя из режима наложения ограничений, выберем центр 1-й окружности (как это сделать смотри выше), а затем начало координат.

Выбор объектов Unigraphics можно осуществлять 2 способами: наведением курсора на объект и щелчком ЛКМ или через меню «Быстрый выбор» (для этого после наведения курсора на желаемый объект необходимо подождать до появления рядом с ним 3 точек, а уже затем нажать ЛКМ). Второй способ желательно использовать, если существует возможность ошибки при выборе объекта (наслоение и пересечение объектов). На рисунке 10 показан выбор начала координат через меню быстрого выбора.

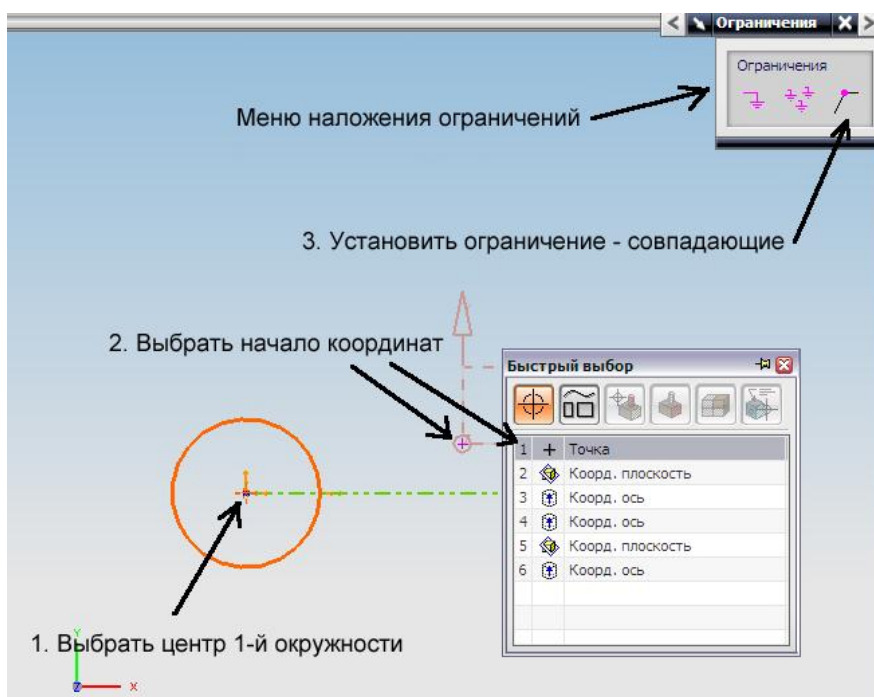





Рисунок 10 – Меню «Быстрый выбор»

После выбора центра окружности и начала координат в меню «Ограничения» стало доступно ограничение «Совпадающие», выберем его, нажав иконку . Центр 1-й окружности переместился в начало координат (при этом могла измениться длина вспомогательной прямой).

Выйдем из режима наложения ограничений, для этого необходимо нажать клавишу Esc или иконку  на панели инструментов.

Для удобства дальнейшего построения проставим часть размеров: диаметры окружностей и расстояние между их центрами. В главном меню выбираем *Вставить* →

*Размеры* → *Контекстный* или иконку  на панели инструментов. Указываем объект, размер которого хотим ввести, например, вспомогательную линию, появляется размерная надпись, положение которой выбираем, перемещая курсор (рисунок 11). Нажимаем ЛКМ, в появившееся меню вводим длину линии – 290 мм и нажимаем клавишу Enter, а затем Esc.

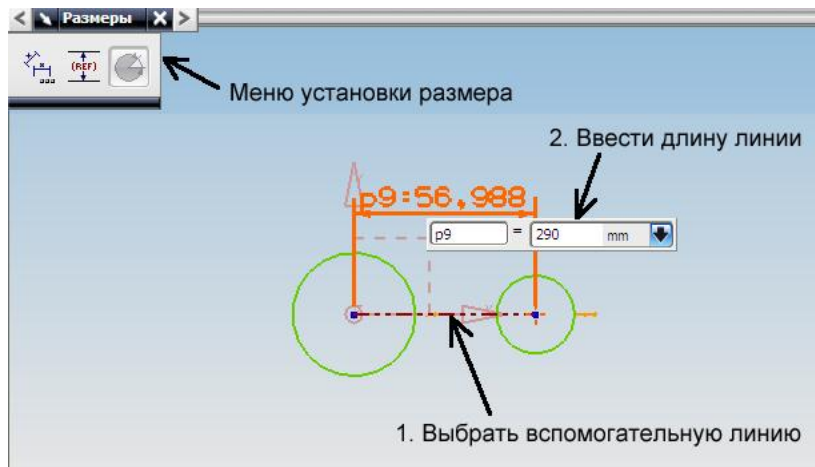


Рисунок 11 – Простановка размера вспомогательной линии

После нанесения размера часть эскиза оказалась за пределами экрана, для размещения эскиза целиком в графическом окне в главном меню выбираем *Вид* → *Операция* →

*Оптимизировать* или иконку  на панели инструментов.

Действуя аналогично предыдущему случаю (стр. 10), нанесем размеры окружностей: диаметр левой – 60 мм, правой – 30 мм (рисунок 12). После нанесения всех размеров эскиз становится малинового цвета – это значит, что он полностью определен.

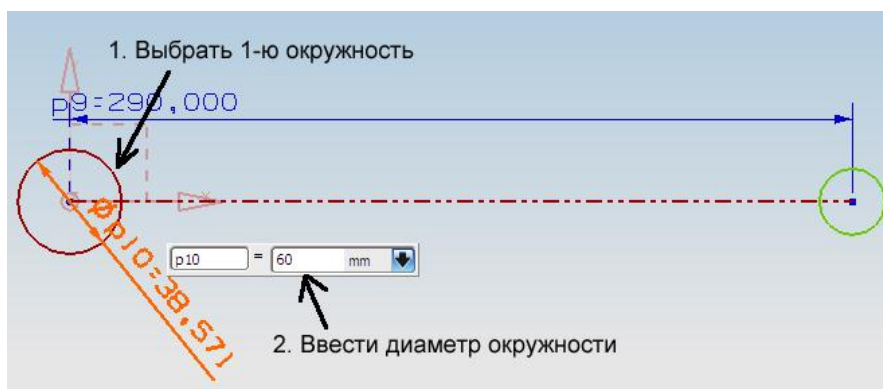




Рисунок 12 – Простановка размера левой окружности

Продолжим построение эскиза. Создадим произвольную прямую (стр. 7), при этом необходимо избегать любых автопривязок (рисунок 13). Теперь необходимо привязать конечные точки данной прямой к окружностям, для этого наложим ограничение «Точка на

кривой». Нажимаем иконку  на панели инструментов, выбираем конечную точку прямой, а затем окружность (окружность желательно выбирать в том месте, откуда предположительно должна начинаться кривая). В меню «Ограничения» нажимаем иконку



 , прямая смещается (рисунок 13). Данную операцию повторяем для другой конечной точки и окружности.

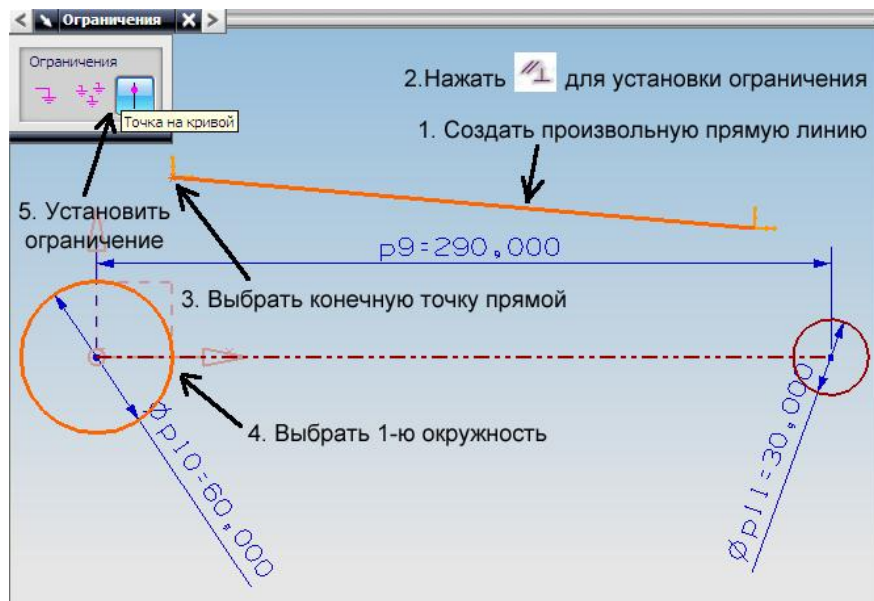




Рисунок 13 – Привязка прямой к окружностям

Проставим недостающие размеры. В главном меню выбираем *Вставить* → *Размеры* → *Вертикально* или нажимаем на черный треугольник рядом с иконкой  на панели инструментов и, в выпадающем меню, выбираем иконку  . Выбираем конечную точку прямой, а затем вспомогательную прямую; появляется вертикальная размерная надпись (рисунок 14). Нажимаем ЛКМ, вводим высоту – 14 мм; ждем клавишу Enter, затем Esc. Аналогичным образом наносим высоту второй шейки – 12 мм.

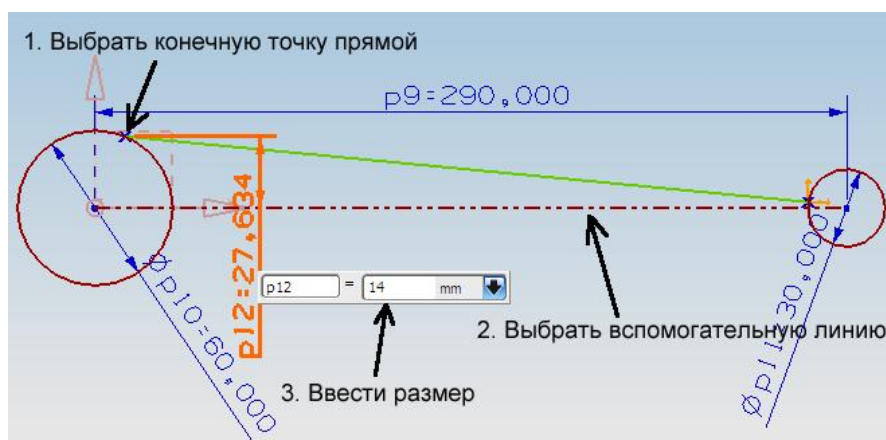


Рисунок 14 – Простановка вертикального размера

Создадим зеркальную копию построенной прямой. В главном меню выбираем

Вставить → Зеркальная кривая или иконку



на панели инструментов, появляется меню

«Зеркальная кривая» (рисунок 15). Выбираем вспомогательную прямую (ось симметрии), затем наклонную прямую и нажимаем ОК.

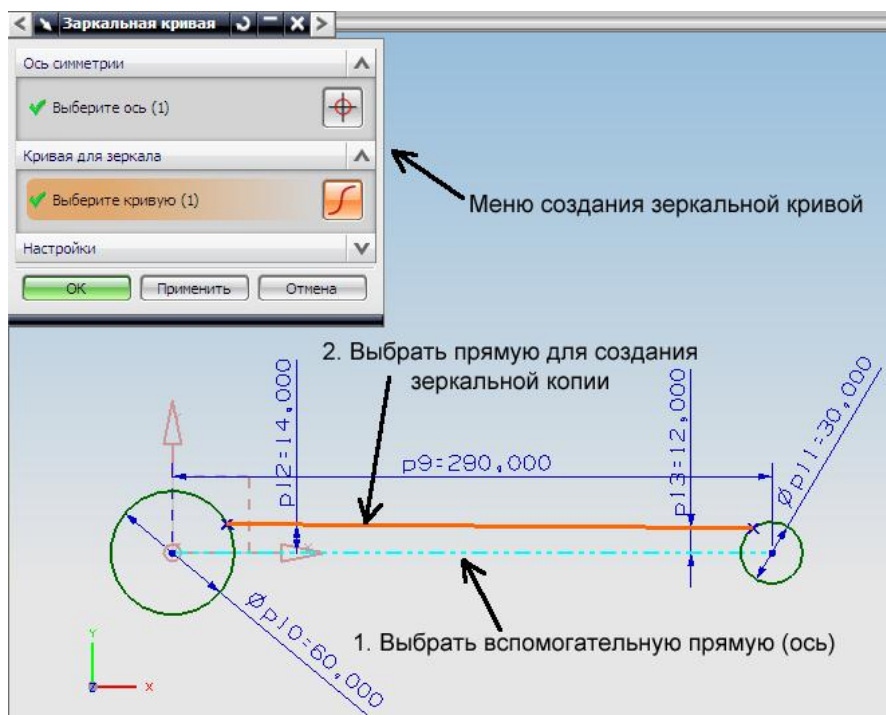


Рисунок 15 – Создание зеркальной копии

Окончательный вариант эскиза детали типа «шатун» изображен на рисунке 16.

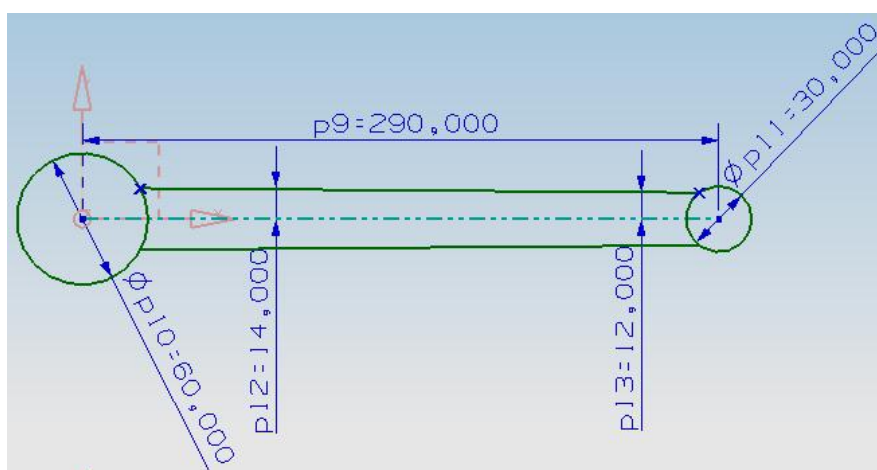
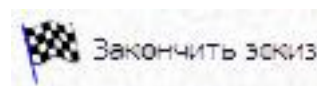


Рисунок 16 – Эскиз детали


После окончания построения эскиза необходимо выйти из режима эскиза: в главном

меню выбираем Задача → Закончить эскиз или иконку



на панели




инструментов. Для полного отображения эскиза в трехмерном виде нажмите иконку  на панели инструментов.

### *Использование типового элемента проектирования (вытягивание)*

Построим деталь как тело вытягивания, получаемое вытягиванием построенного эскиза вдоль оси OZ. В виду симметрии шатуна относительно плоскости XY построим только половину детали, а 2-ю половину построим зеркальным копированием.

В главном меню выбираем *Вставить* → *Элементы проектирования* → *Вытягивание*

или иконку  на панели инструментов. В связи с тем, что различные элементы шатуна имеют различную высоту, вытягивать эти элементы будем по отдельности. На панели выбора в меню «Правило кривой», которое задает режим для выбора кривых, выбираем «Единственная кривая» (рисунок 17). Указываем окружность диаметром 60 мм для вытягивания, в меню «Вытягивание» во 2-й графе «Расстояние» пункта «Ограничение» вводим половину высоты головки шатуна – 10 мм (рисунок 17). Нажимаем ОК.

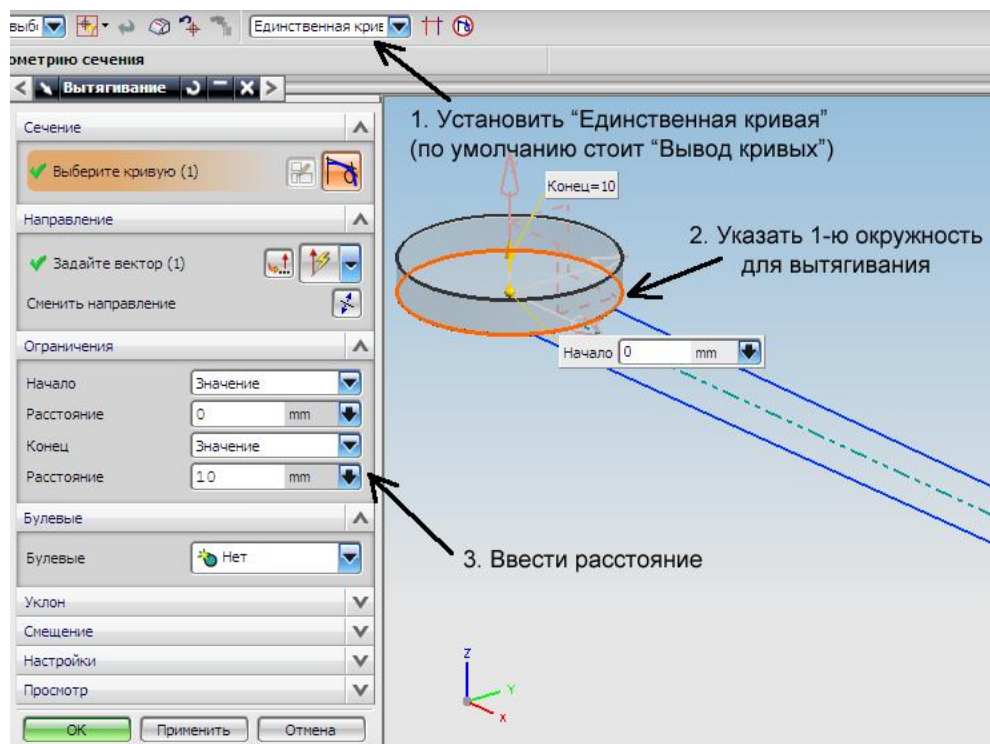







Рисунок 17 – Создание головки шатуна вытягиванием

Теперь создадим тело шатуна. Нажимаем иконку  на панели инструментов. Убеждаемся, что в меню «Правило кривой» стоит «Единственная кривая». На панели выбора выбираем иконку  – «Остановка по пересечению» (рисунок 18). Выбираем 2 дуги и 2

прямые, ограничивающие тело шатуна (рисунок 18). Действуя аналогично предыдущей операции, вводим расстояние вытягивания – 8 мм. В пункте «Булевы» меню «Вытягивание»

активируем операцию « Объединение», это объединит уже созданное тело (головку шатуна) с создаваемым на данном шаге. Нажимаем ОК.

Построим последний элемент шатуна – вытянем окружность диаметром 30 мм на 12,25 мм. При этом нужно отключить «Остановку по пересечению», нажав на иконку  на панели выбора, и убедиться, что в пункте «Булевы» включена операция « Объединение». Результат всех операций вытягивания приведен на рисунке 19.

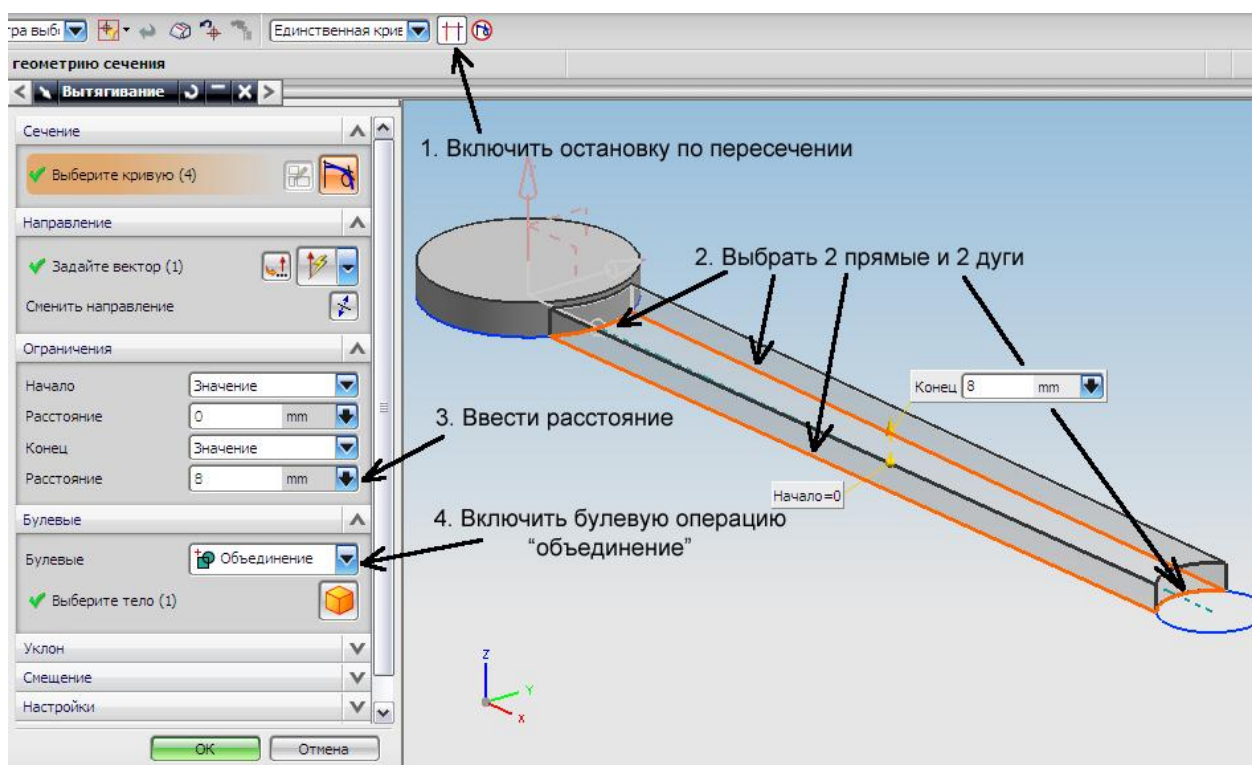



Рисунок 18 – Создание тела шатуна вытягиванием

### Создание кармана

Нажимаем иконку  на панели инструментов – заходим в режим создания эскиза (стр. 6). В качестве плоскости для размещения эскиза выбираем верхнюю грань тела шатуна (рисунок 19). Нажимаем ОК.

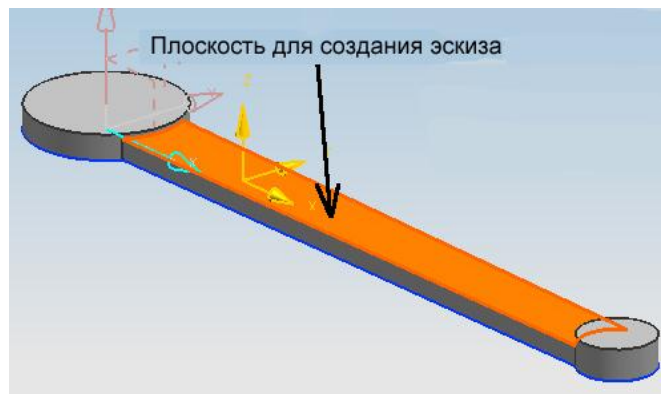





Рисунок 19 – Создание эскиза кармана

Если меню «Профиль» не включилось автоматически, то в главном меню выбираем

*Вставить* → *Профиль* или иконку  на панели инструментов. Построим произвольный замкнутый профиль, состоящий из 2 прямых и 2 дуг (рисунок 20), при этом необходимо избегать любых автопривязок (кроме привязки «Конечная точка» при построении 2-й дуги, что обеспечит замкнутость профиля). Выбор типа объекта – прямая или дуга –

осуществляется соответственно нажатием иконки  или  в меню «Профиль». После построения нажимаем 2 раза клавишу Esc.

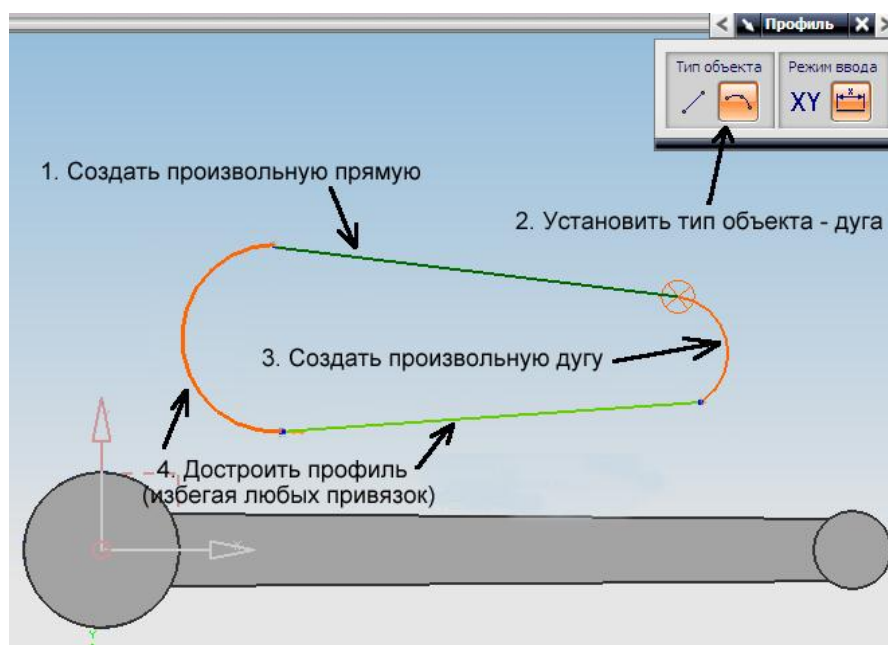


Рисунок 20 – Создание профиля

Теперь наложим ограничение «Касательно» – прямые должны быть касательны к дугам. Частично это ограничение было наложено автоматически, о чем свидетельствуют синие кружки рядом с точками пересечения дуг и прямых (рисунок 21). Заходим в режим наложения








ограничений – нажимаем иконку  на панели инструментов (стр. 8), выбираем окружность и прилегающую к ней прямую. В меню «Ограничения» нажимаем иконку  (рисунок 21). Накладываем данное ограничение на остальные точки, рядом с которыми отсутствует синий кружок.



Рисунок 21 – Наложение ограничения «Касательно»

Для удобства дальнейшего построения отобразим эскиз в трехмерном виде – нажмем иконку  на панели инструментов. Также сменим способ отображения объекта на «Статический каркасный» – нажмем на треугольник рядом с иконкой  на панели инструментов и выберем « Статический каркасный».

Разместим центры окружностей построенного профиля на вспомогательной прямой. Не выходя из режима наложения ограничений, выбираем центр 1-й окружности, а затем вспомогательную прямую (рисунок 22). В меню «Ограничения» нажимаем иконку  – «Точка на кривой». Повторяем операцию с центром 2-й окружности.

Наложим на 2 построенные дуги ограничение «Касательно» – выбираем дугу, а затем ребро, которого она должна касаться (рисунок 23). В меню «Ограничения» нажимаем иконку  . Повторяем операцию со 2-й дугой и противоположным ребром. Выходим из режима наложения ограничений – Esc (стр. 10).

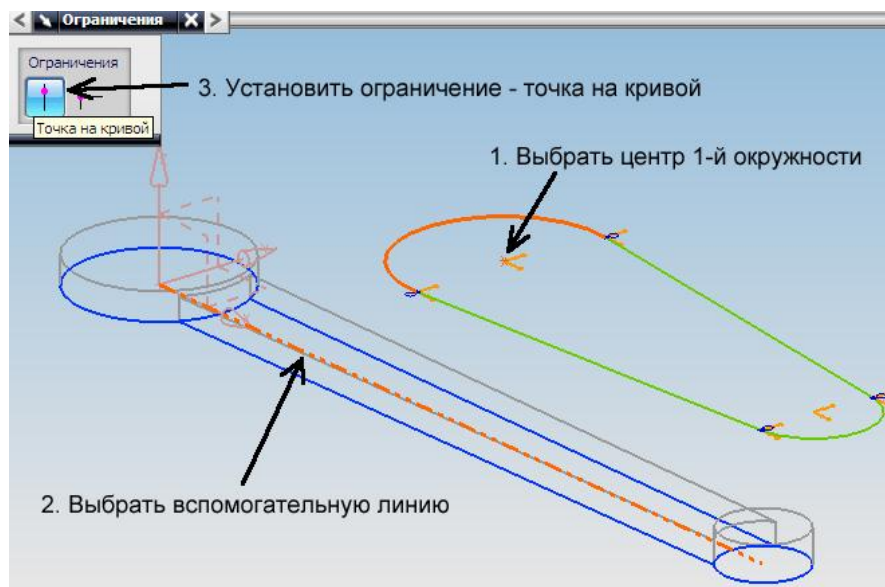


Рисунок 22 – Наложение ограничения «Точка на кривой»

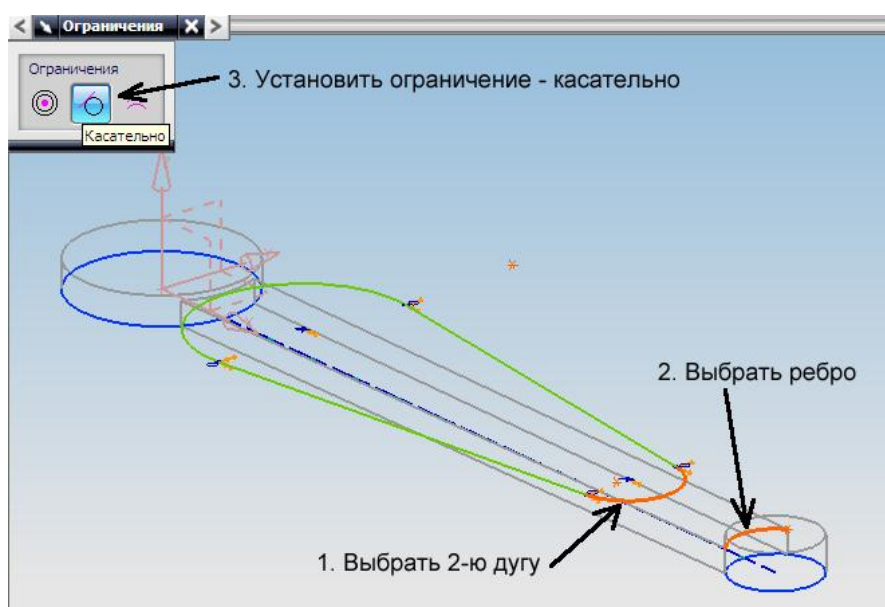



Рисунок 23 – Наложение ограничения «Касательно»

Теперь нанесем размеры – радиусы дуг. В главном меню выбираем *Вставить* →

*Размеры* → *Радиус* или иконку  на панели инструментов. Выбираем образмериваемую дугу, например, касающуюся меньшей головки, ЛКМ фиксируем размерную надпись (рисунок 24). В появившееся меню вводим значение радиуса – 6,5 мм, нажимаем Enter, а затем Esc. Действуя аналогично наносим размер дуги, касающейся большей головки – 8,5 мм.



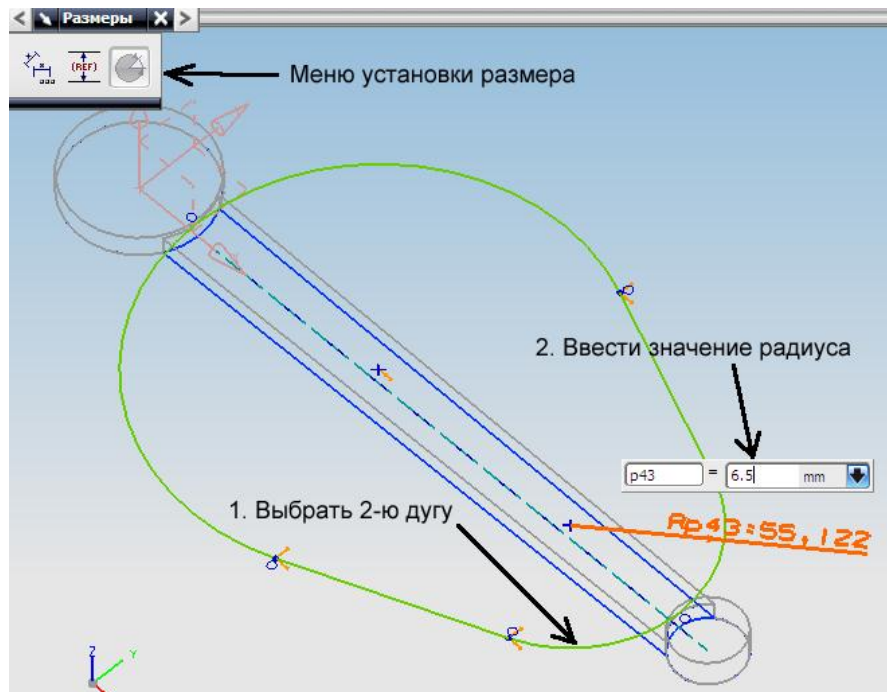




Рисунок 24 – Нанесение радиуса дуг

Сменим способ отображения объекта на «Закраска с ребрами» – нажмем на иконку  на панели инструментов (стр. 18). Готовый эскиз кармана, полученный после выполнения всех вышеперечисленных операций, изображен на рисунке 25. После окончания построения эскиза необходимо выйти из режима эскиза – выбрать иконку  Закончить эскиз (стр. 14).

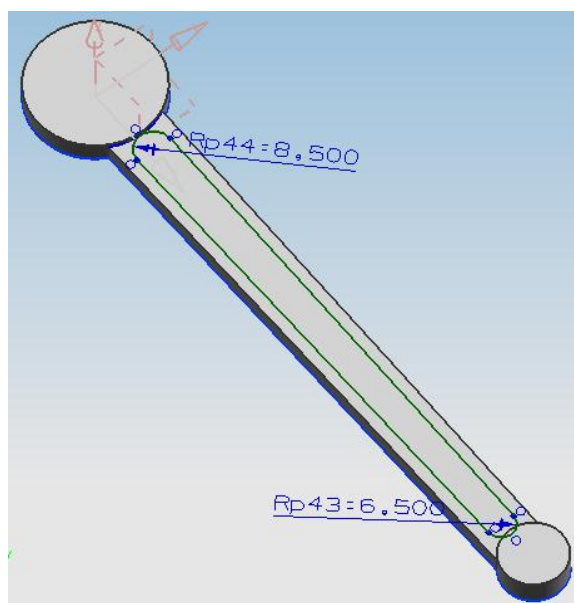




Рисунок 25 – Эскиз кармана

После создания эскиза кармана можно перейти к его построению. Выбираем иконку



на панели инструментов. В меню «Правило кривой» панели выбора устанавливаем «Вывод кривых»; убеждаемся, что «Остановка по пересечению» отключена (стр. 15). Выбираем любую кривую эскиза кармана, весь эскиз подсвечивается (рисунок 26). В пункте «Направление» меню «Вытягивание» нажимаем иконку  для смены направления вытягивания. Вводим расстояние вытягивания – 6 мм (стр. 14); устанавливаем булеву операцию  «Вычитание» (стр. 15).

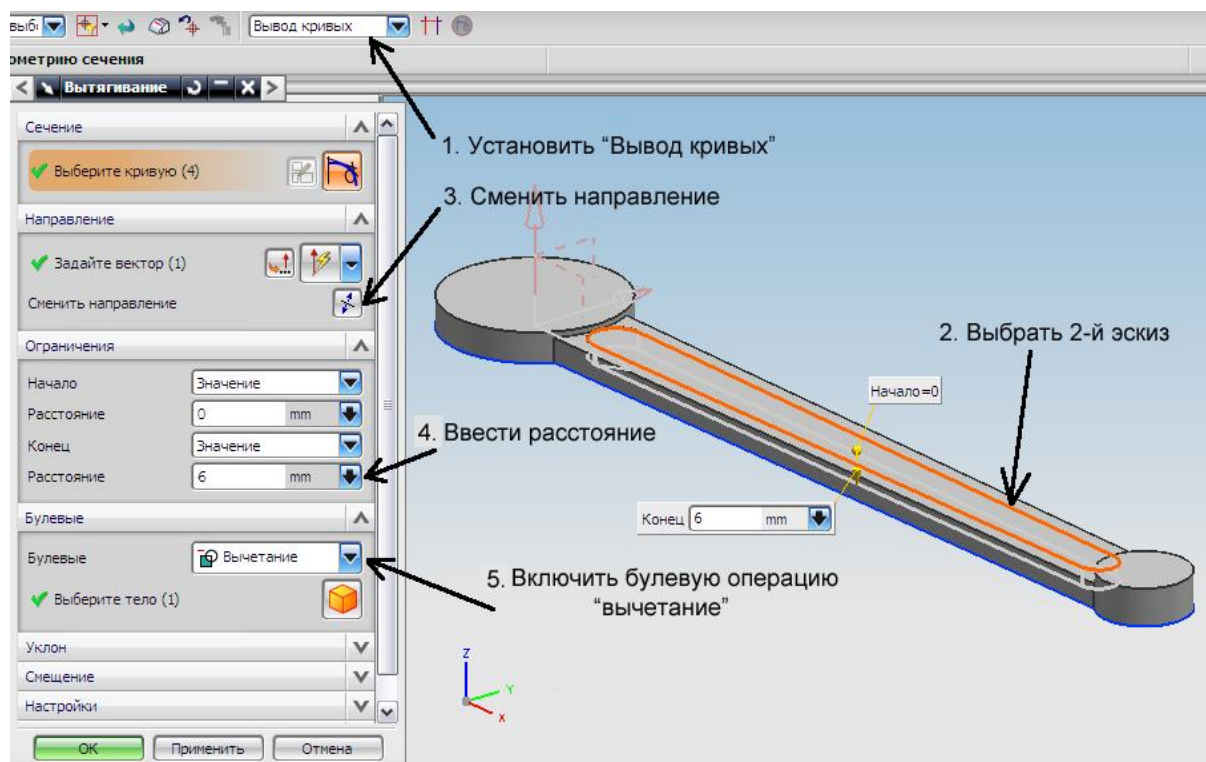


Рисунок 26 – Создание кармана

### *Использование типового элемента проектирования (отверстие)*

Построим отверстия в головках шатуна используя типовой элемент проектирования. В главном меню выбираем *Вставить* → *Элементы проектирования* → *Отверстие* или иконку



на панели инструментов. В появившемся меню «Отверстие» (рисунок 27) указываем тип отверстия – простое. Выбираем верхнюю грань большей головки – грань размещения отверстия, а затем противоположную грань – сквозную грань. В графе «Диаметр» меню «Отверстие» вводим величину диаметра отверстия – 32 мм. Нажимаем ОК.

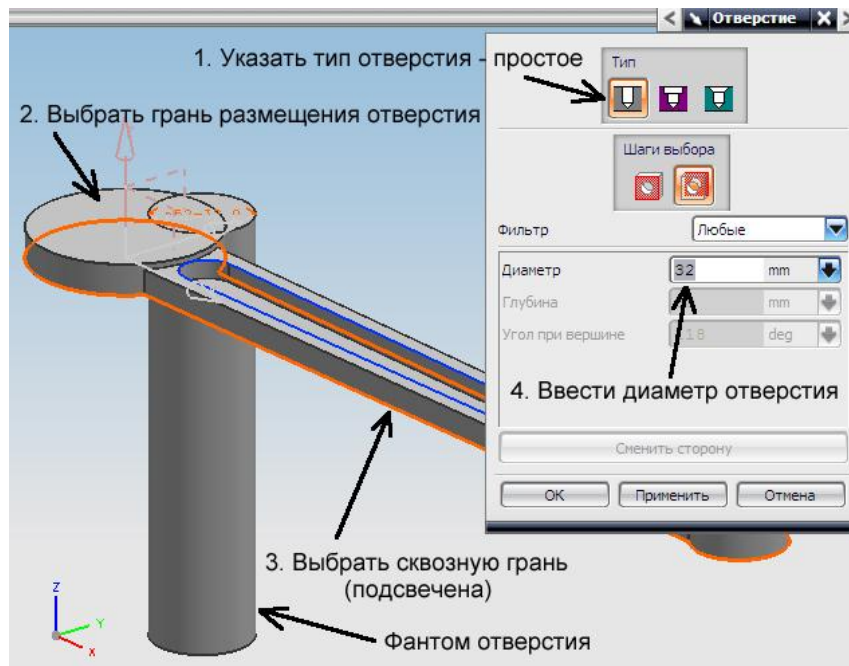



Рисунок 27 – Создание отверстия

Появляется меню «Позиционирование», в котором выбираем способ позиционирования отверстия «Точка в точку» – нажимаем иконку . Далее выбираем верхнее ребро большей головки (рисунок 28) и в появившемся меню «Задать положение окружности» нажимаем «Центр дуги». Отверстие разместится в центре указанного ребра головки.

Действуя аналогично, построим отверстие диаметром 8 мм в меньшей головке шатуна. Построенные отверстия изображены на рисунке 29.

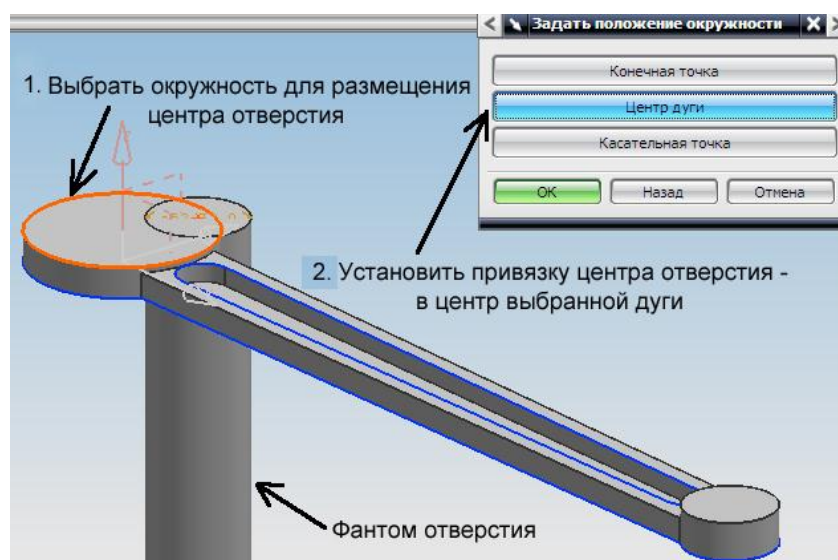



Рисунок 28 – Позиционирование отверстия



### Построение фасок и скруглений

Теперь можно перейти к этапу построения фасок и скруглений. В главном меню выбираем *Вставить* → *Конструктивный элемент* → *Фаска* или иконку  на панели инструментов. Выбираем ребра для построения фасок – ребра торцов головок (рисунок 29). В графе «Расстояние» меню «Фаска» вводим размер фаски – 0,5 мм. Нажимаем ОК. Действуя аналогично построим фаску размером 2 мм на ребре отверстия большой головки (рисунок 29).

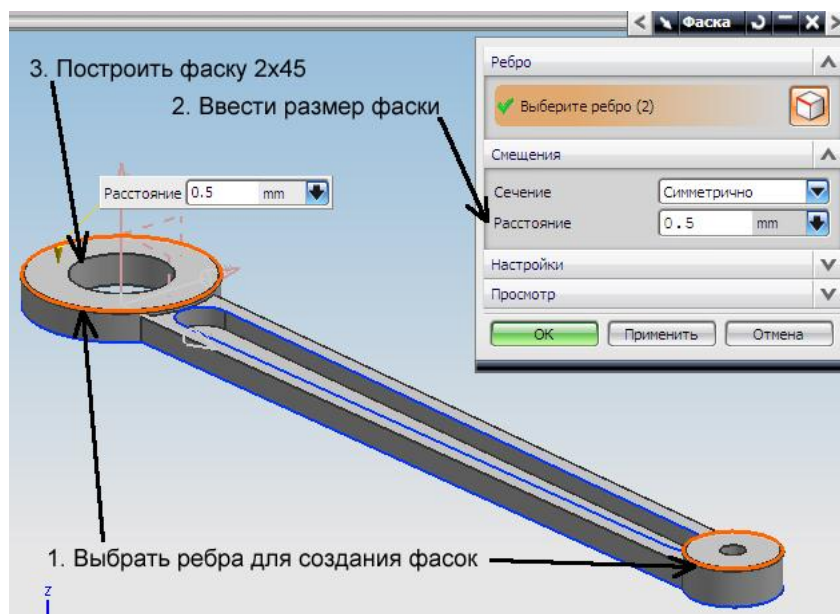


Рисунок 29 – Построение фасок


Построим недостающие скругления. В главном меню выбираем *Вставить* → *Конструктивный элемент* → *Скругление ребра* или иконку  на панели инструментов. Скруглим места перехода тела шатуна к большой головке – выбираем ребра в данном месте (рисунок 30). В графе «Радиус 1» меню «Скругления ребра» вводим радиус скругления – 15 мм. Нажимаем ОК. Действуя аналогично, скруглим места перехода тела шатуна к меньшей головке радиусом 10 мм (рисунок 30).



Рисунок 30 – Скругление ребер

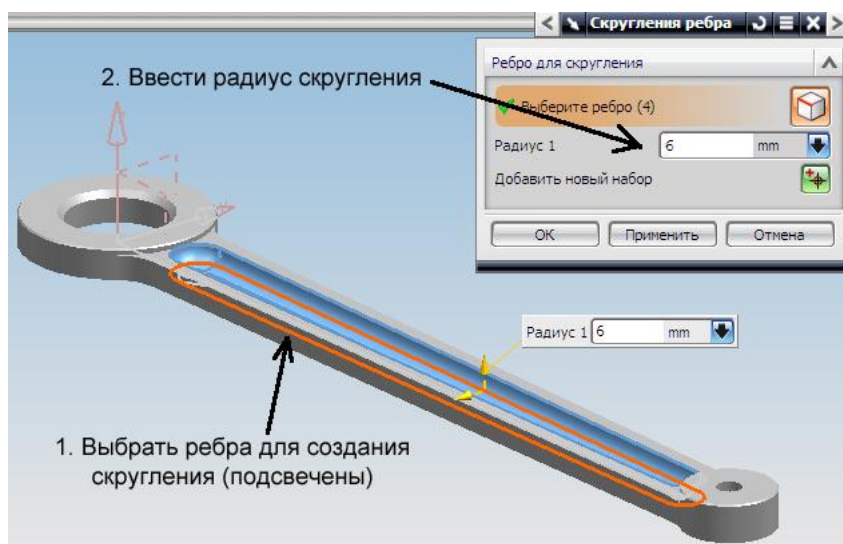


Рисунок 31 – Скругление дна кармана

Скруглим ребра дна кармана радиусом 6 мм (рисунок 31) и кромки тела шатуна радиусом 2 мм (рисунок 32).

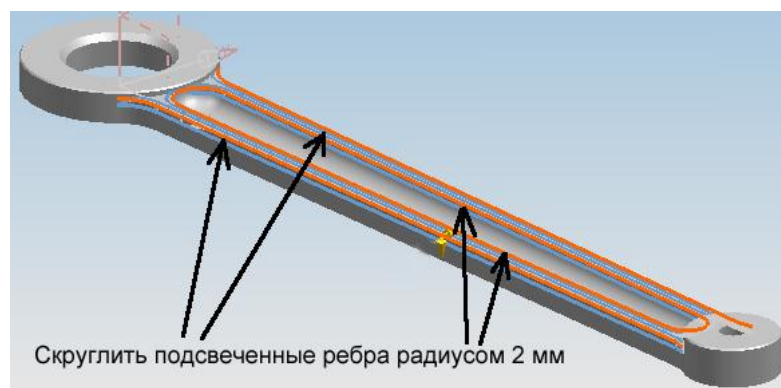



Рисунок 32 – Скругление кромок тела шатуна

### Создание зеркального тела

Создадим зеркальную копию построенной части шатуна. Сначала сменим способ отображения объекта на «Статический каркасный» – нажимаем на иконку  на панели инструментов (стр. 18). В главном меню выбираем *Вставить* → *Ассоциативная копия* → *Зеркальное тело*, появляется меню «Зеркальное тело». Выбираем построенное тело, а затем указываем плоскость отражения – плоскость XY (рисунок 33). Нажимаем ОК.

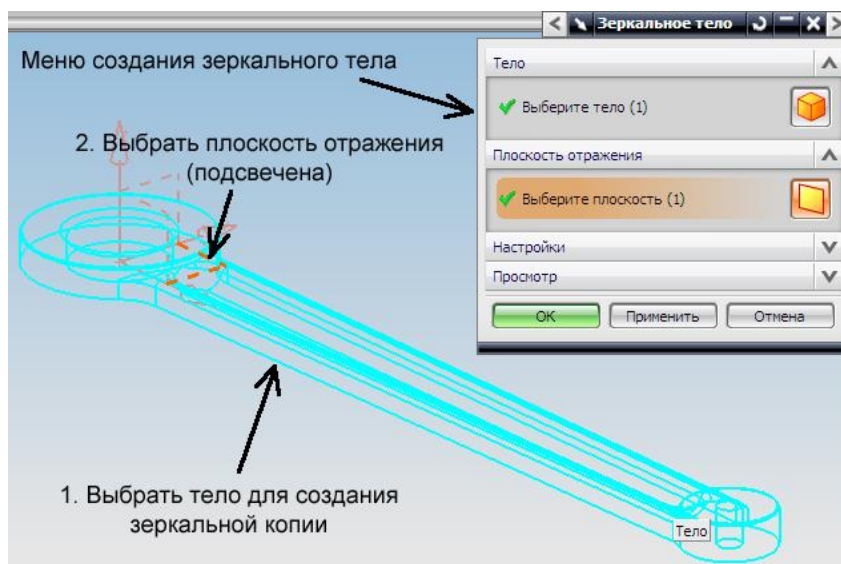



Рисунок 33 – Создание зеркального тела

Теперь необходимо объединить построенную часть шатуна и ее зеркальную копию в единое тело. В главном меню выбираем *Вставить* → *Комбинированные тела* → *Объединение* или иконку  на панели инструментов. Выбираем тело построения (к чему будем присоединять) – построенную часть шатуна, а затем инструмент (что будем присоединять) – зеркальную копию этой части (рисунок 34). Нажимаем ОК.

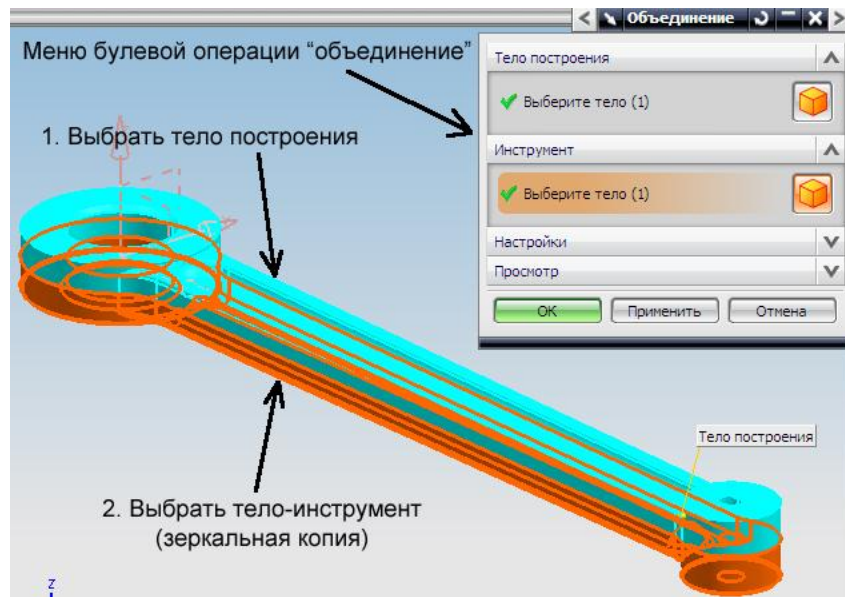


Рисунок 34 – Использование операции «Объединение»

Окончательный вариант шатуна изображен на рисунке 35 (способ отображения объекта – «Закраска»).

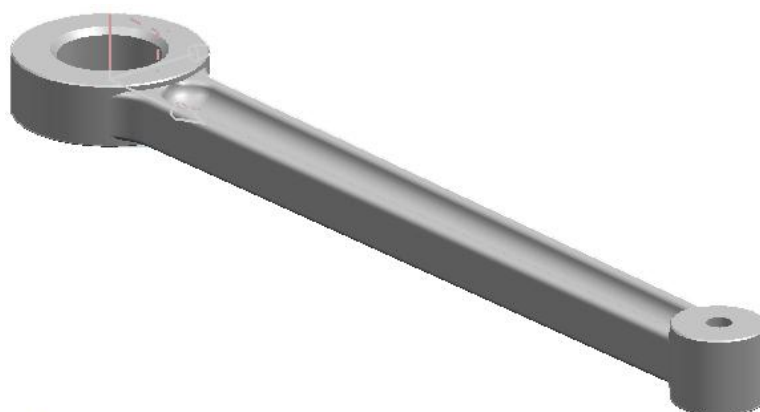


Рисунок 35 – Шатун

### *Измерение тела*

Определим свойства тела, такие как масса, объем и моменты инерции. В главном меню выбираем *Анализ* → *Измерение тел*. Выбираем построенное тело, в графе «Показать информационное окно» меню «Измерение тел» ставим галочку (рисунок 36). Загружается окно «Информация», содержащее подробную информацию о всех свойствах тела (приложение А).

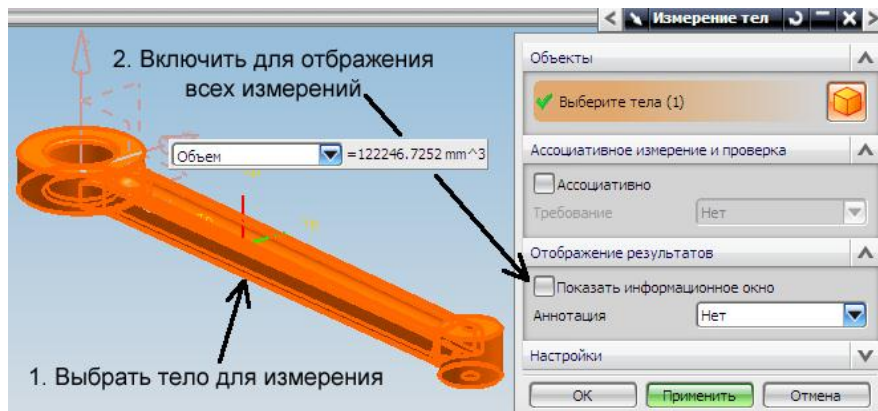




Рисунок 36 – Измерение тел

По умолчанию в Unigraphics установлено значение плотности материала равное  $7830,64 \text{ кг/м}^3$ . Для изменения плотности в главном меню выбираем *Настройки* → *Моделирование* и на закладке «Общий» меню «Настройки моделирования» в графе «Плотность» вводим требуемое значение плотности. Нажимаем ОК.

Сохраним построенную деталь. В главном меню выбираем *Файл* → *Сохранить* или иконку  на панели инструментов.

## 6 СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОКОВКИ.

### Удаление и редактирование элементов построения

После построения детали можно переходить к этапу моделирования поковки. В главном меню выбираем *Файл* → *Открыть* или иконку  на панели инструментов. В появившемся окне «Открыть файл детали» выбираем файл shatun.prt (стр. 5), нажимаем ОК. Сохраним файл под другим именем – в главном меню выбираем *Файл* → *Сохранить как*. В графе «Имя файла» меню «Сохранить файл детали как» вводим новое имя файла – роковка. Нажимаем ОК.

Приступим к перестроению детали – удалим элементы детали, отсутствующие на поковке: 2 отверстия и фаски. В навигаторе детали выделим следующие элементы: Simple Hole (7), Simple Hole (8), Chamfer (9), Chamfer (10). Для выделения одновременно нескольких элементов необходимо кликать по ним ЛКМ при нажатой клавише Ctrl (для отмены выделения необходимо нажать клавишу Esc). После выделения нужных элементов нажимаем клавишу Delete (рисунок 37).

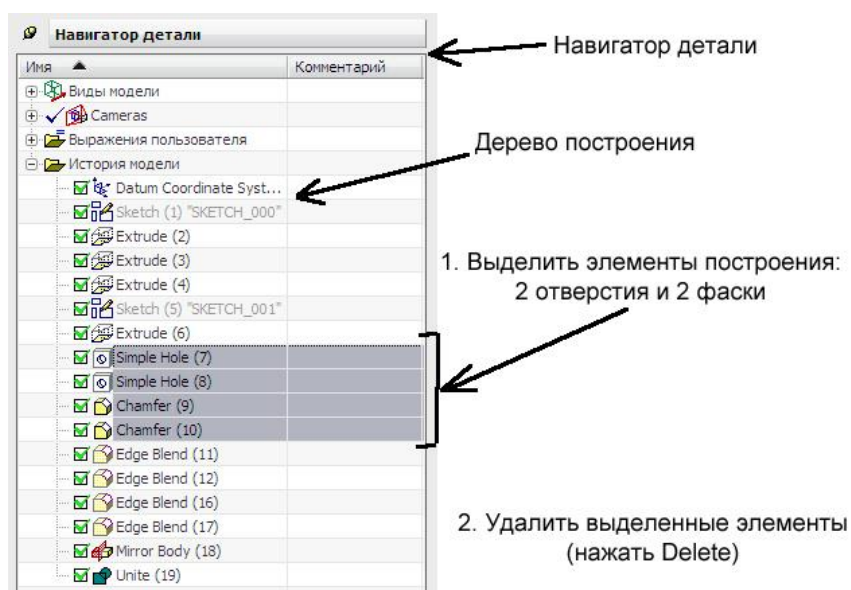
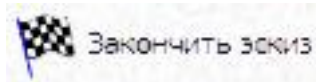


Рисунок 37 – Удаление элементов построения

Изменим некоторые размеры детали в соответствии с назначенными припусками на механическую обработку. В навигаторе детали двойным щелчком ЛКМ по элементу Sketch (1) “SKETCH\_000” загружаем режим эскиза. Изменим размер большей окружности (диаметром 60 мм). Двойным щелчком ЛКМ по редактируемому размеру вызываем меню ввода размера, изменяем размер на 63,5 мм (рисунок 38). Нажимаем Enter. Действуя аналогично, изменим диаметр меньшей окружности с 30 мм на 33,5 мм. После окончания



редактирования эскиза необходимо выйти из режима эскиза – выбрать иконку



на панели инструментов (стр. 14).

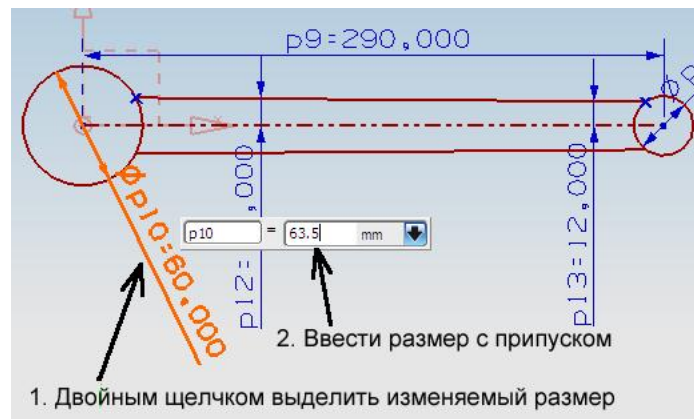


Рисунок 38 – Редактирование эскиза

Отредактируем высоту головок шатуна с учетом припуска на механическую обработку. В навигаторе детали двойным щелчком ЛКМ по элементу Extrude (2) вызываем меню «Вытягивание», в пункте «Ограничения» которого во второй графе «Расстояние» меняем размер с 10 мм на 12 мм (рисунок 17), нажимаем ОК. ИЛИ в дереве построения щелчком ЛКМ выделяем элемент Extrude (2), а затем в подменю «Подробности» навигатора детали ЛКМ 2 раза (не двойным щелчком) нажимаем на «p15=10» и вводим новый размер – 12 мм (рисунок 39), нажимаем Enter.

Действуя аналогично, изменим размер меньшей головки (элемент Extrude (4) навигатора детали) с 12,25 мм на 14,25 мм.

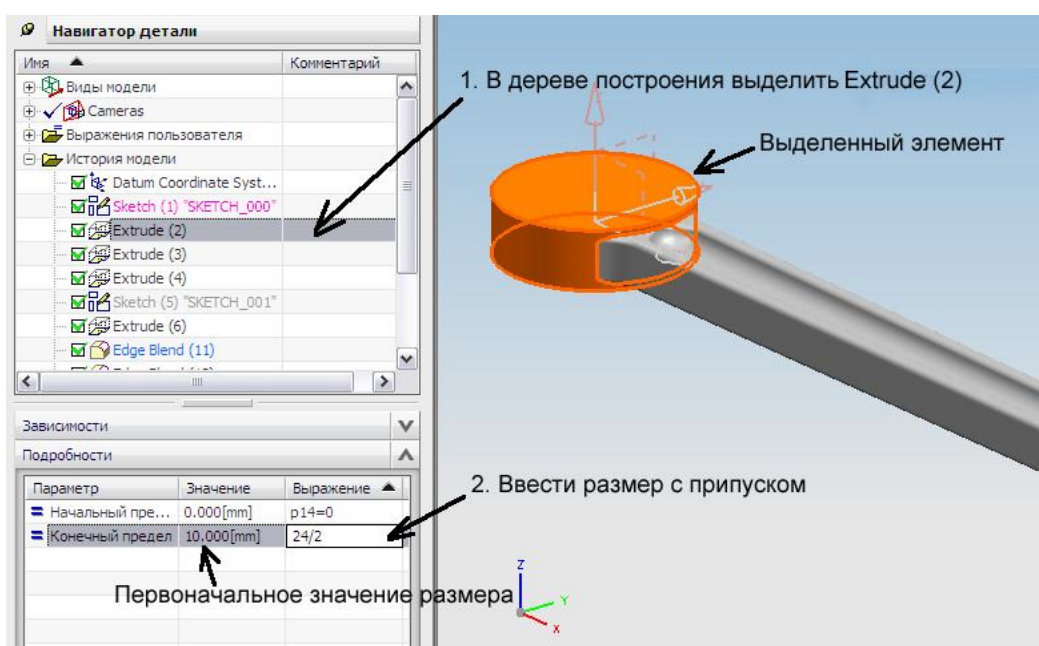


Рисунок 39 – Редактирование типового элемента проектирования

### Создание штамповочного уклона

ПКМ щелкаем по элементу Extrude (4) навигатора детали, затем в появившемся меню выбираем «Сделать элемент текущим» (рисунок 40). Все элементы построения после Extrude (4) становятся неактивными.

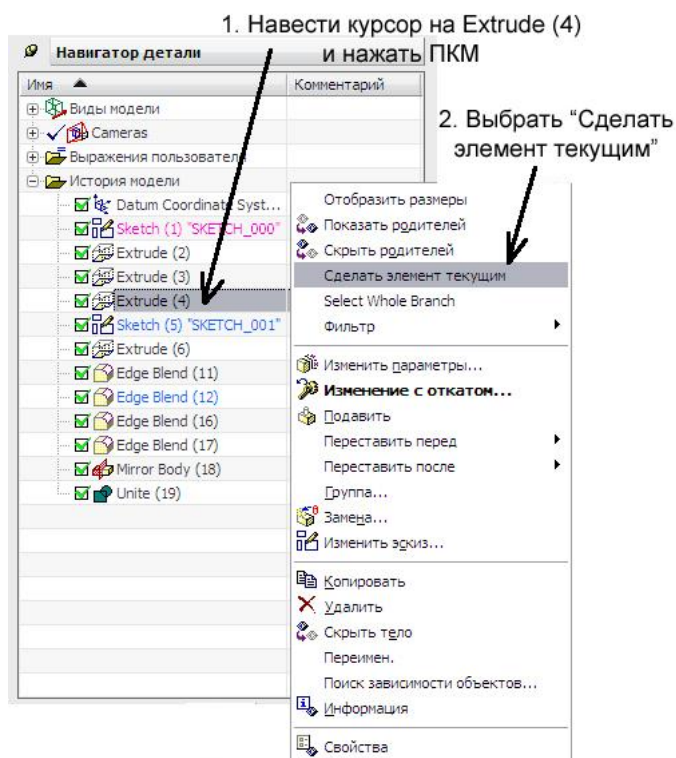



Рисунок 40 – Операция «Сделать элемент текущим»

Создадим штамповочный уклон на данном шаге построения. В главном меню выбираем

*Вставить* → *Конструктивный элемент* → *Уклон* или иконку  на панели инструментов. Появляется меню «Уклон», в пункте «Тип» которого устанавливаем тип уклона – «От ребер» (рисунок 41). Выберем направление уклона – укажем ось OZ. Затем выберем ребра, от которых будет создаваться уклон: ребра головок и кромки тела шатуна (рисунок 41). В графу «Уклон 1» вводим величину уклона – 7°. Нажимаем ОК.



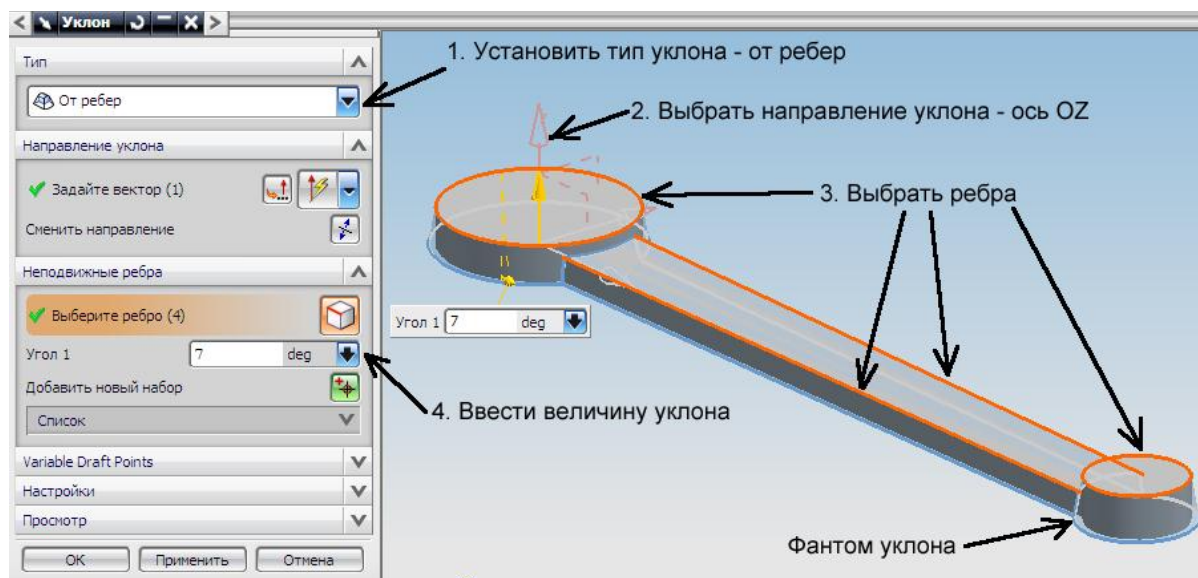


Рисунок 41 – Создание штамповочного уклона

Сделаем текущим (стр. 30) элемент Edge Blend (11) навигатора детали и построим скругления (стр. 24) ребер головок шатуна радиусом 2 мм (рисунок 42).

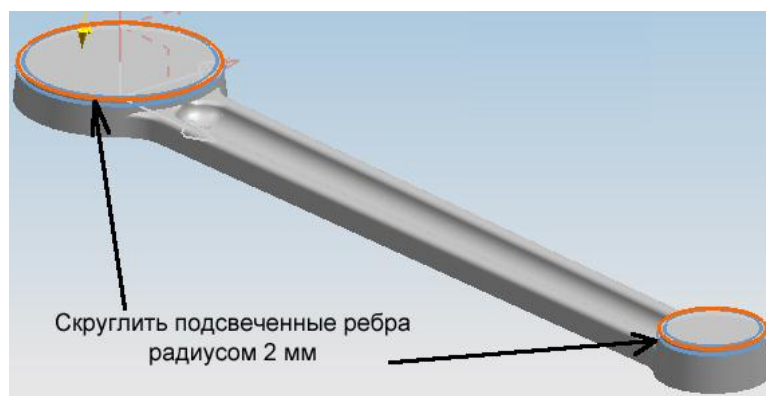



Рисунок 42 – Скругление ребер поковки

Сделав текущим (стр. 30) последний элемент навигатора детали – Unite (14), получим трехмерную модель поковки шатуна (рисунок 43). Сохраним построенную деталь – выбираем

иконку  на панели инструментов.

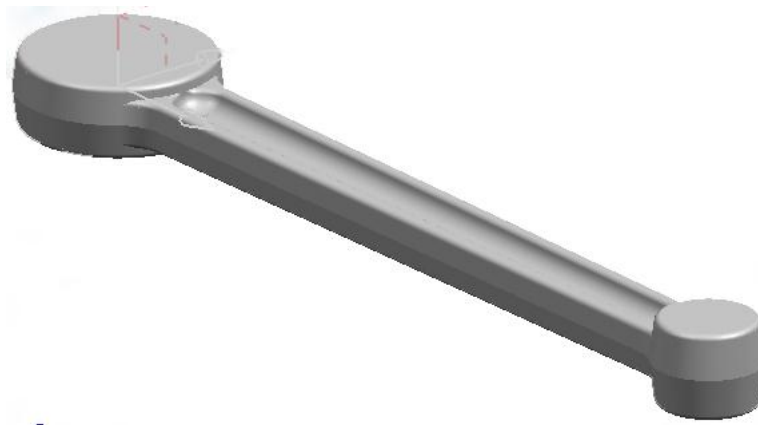



Рисунок 43 – Поковка шатуна

### Измерение тела

Свойства тела, такие как масса, объем и моменты инерции определяются по алгоритму описанному ранее (стр. 27). Подробная информация о всех свойствах поковки приведена в приложении Б.

Для построения эпюры сечений и диаметров необходимо знать площадь поперечных сечений поковки. Измерим площадь сечения, находящегося на расстоянии 50 мм от начала координат. Сначала построим вспомогательную плоскость – в главном меню выбираем

*Вставить* → *База/точка* → *Коорд. плоскость* или иконку  на панели инструментов. В пункте «Тип» меню «Коорд. плоскость» указываем способ построения плоскости – «На расстоянии», а затем выбираем плоскость ZY в качестве базовой (рисунок 44). В графу «Расстояние» пункта «Смещение» вводим величину смещения создаваемой плоскости от базовой – 50 мм. Нажимаем ОК.

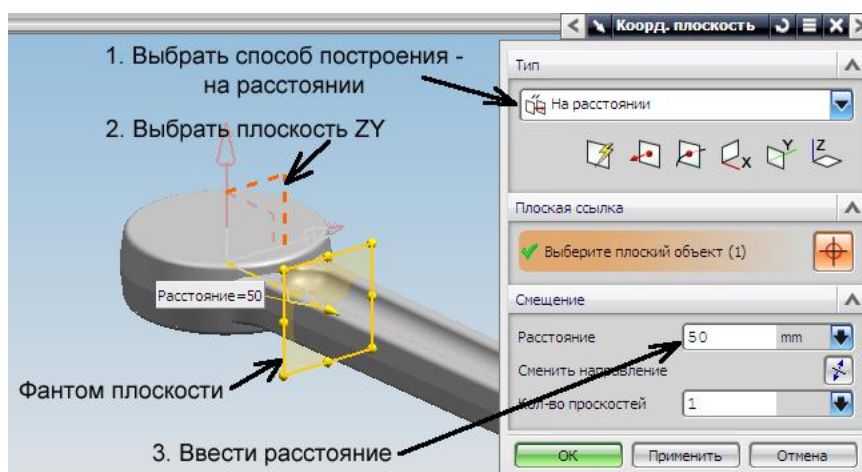



Рисунок 44 – Создание вспомогательной плоскости

Обрежем тело построенной плоскостью – в главном меню выбираем *Вставить* →

*Обрезка* → *Обрезка тела* или иконку  на панели инструментов. Выбираем обрезаемое тело (поковку). Затем необходимо сделать активным пункт «Инструмент» меню «Обрезка тела» – нажимаем «Выберите грань или плоскость (0)». Выбираем построенную вспомогательную плоскость (рисунок 45). Нажимаем ОК.

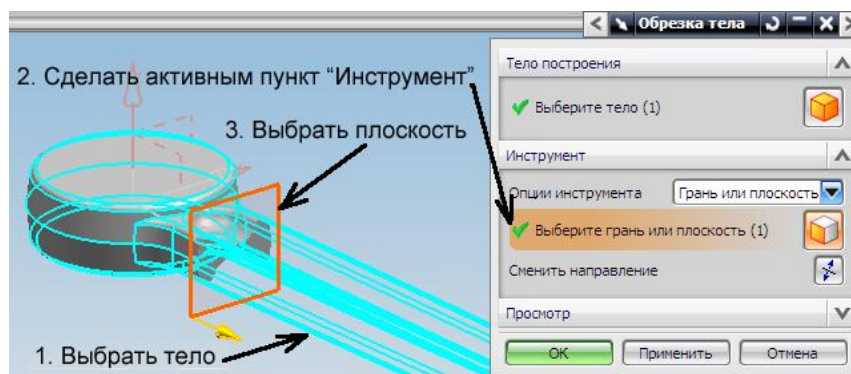


Рисунок 45 – Обрезка тела

Измерим площадь сечения, образующегося пересечением тела и вспомогательной плоскости. В главном меню выбираем *Анализ* → *Измерение грани*. Выбираем измеряемую грань (рисунок 46), появляется площадь грани ( $282,267 \text{ мм}^2$ ) в меню «Измерение граней» ставим галочку напротив «Ассоциативно». Нажимаем ОК.

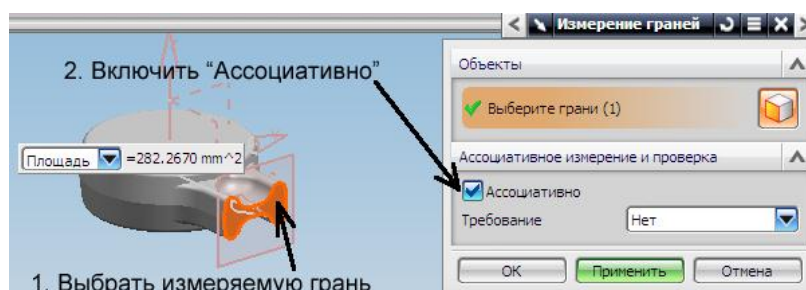


Рисунок 46 – Измерение грани

При построении эпюры сечений необходимо измерить площадь поперечного сечения поковки в нескольких местах. Для этого ЛКМ выделяем элемент Datum Plane (16) в навигаторе детали (рисунок 47). Затем в подменю «Подробности» (стр. 29) в столбце «Выражение» вводим новое смещение вспомогательной плоскости (можно вводить отрицательные значения), которое определяет местоположение измеряемого сечения. Нажимаем Enter. После этого ЛКМ выделяем элемент Face Measurement (18) в навигаторе детали (рисунок 47), и в подменю «Подробности» в строке «Face.area» смотрим величину площади сечения.

Таким образом, можно определить площадь сечения в различных частях поковки столько раз, сколько требуется для построения эпюры сечений.

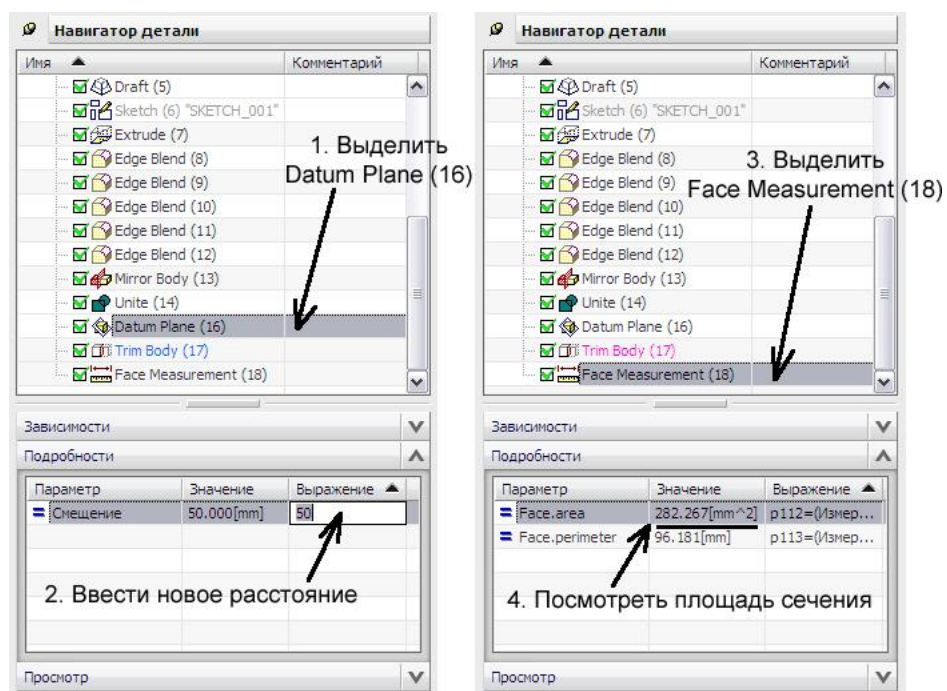


Рисунок 47 – Определение площади сечений

## 7 МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАТКИ

### *Масштабирование поковки*

После построения поковки можно переходить к этапу моделирования штамповой оснастки. Откроем файл `rokovka.prt` и сохраним его под другим именем (стр. 28) – `ruchey`.

В связи с тем, что после охлаждения штамповка уменьшается в размерах, геометрия штамповочного ручья должна быть несколько больше, т.е. учитывать линейное расширение штампуемой детали. Учтем данный фактор: в главном меню выбираем *Вставить* → *Смещение/масштаб* → *Масштаб*. Появляется меню «Масштаб», в пункте «Масштаб» которого вводим величину увеличения поковки – 1,0156 (коэффициент линейного расширения стали 12ХН3А –  $15,6 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ ). Выбираем поковку (рисунок 48) и нажимаем ОК.

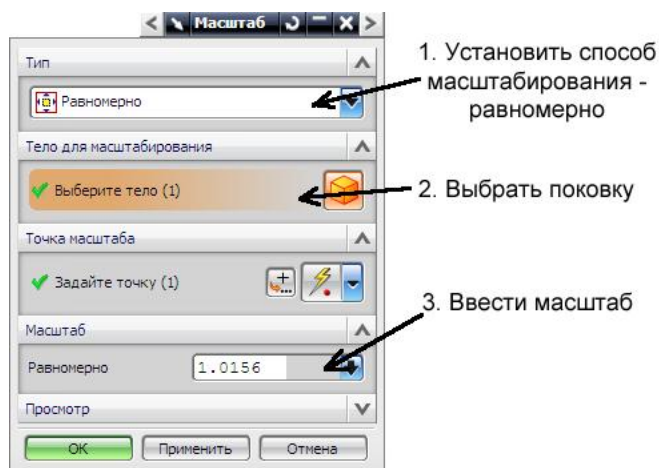


Рисунок 48 – Масштабирование поковки

### *Создание эскиза облойной канавки*



Нажимаем иконку на панели инструментов – заходим в режим создания эскиза (стр. 6). В качестве плоскости для размещения эскиза выбираем плоскость ZY. Нажимаем ОК.

Построим произвольный *замкнутый* профиль (стр. 17), показанный на рисунке 49. При построении следует избегать любых привязок кроме «горизонтальности», «вертикальности» и «конечной точки».



Рисунок 49 – Создание эскиза облойной канавки

Теперь наложим ограничение «Касательно» – прямые должны быть касательны к дугам (стр. 17). Накладываем данное ограничение на точки, рядом с которыми отсутствует синий кружок (рисунок 50).

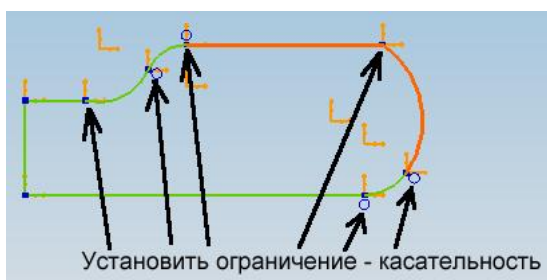


Рисунок 50 – Наложение ограничения «Касательно»

Образмерим построенный профиль облойной канавки, используя функцию «Контекстный» (стр. 10). Профиль после простановки всех размеров изображен на рисунке 51.

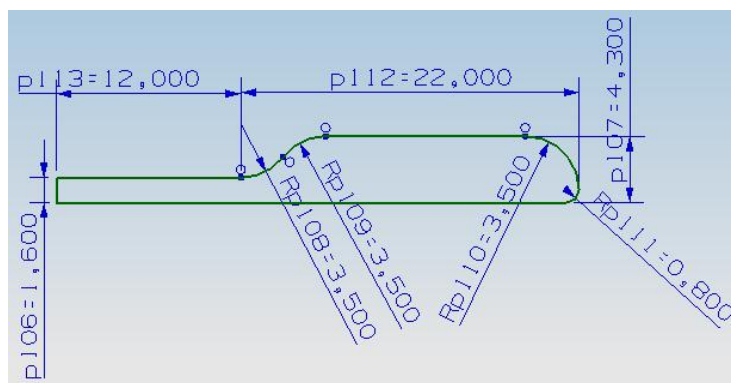


Рисунок 51 – Профиль облойной канавки



Расположим эскиз облойной канавки относительно поковки. В главном меню выбираем *Вставить* → *Размеры* → *Вертикально* (стр. 12). Выбираем левую конечную точку нижней горизонтальной прямой (рисунок 52), а затем начало координат (стр. 10). Появляется вертикальная размерная надпись, нажимаем ЛКМ, вводим расстояние – 0,8 мм; жмем клавишу Enter, затем Esc.

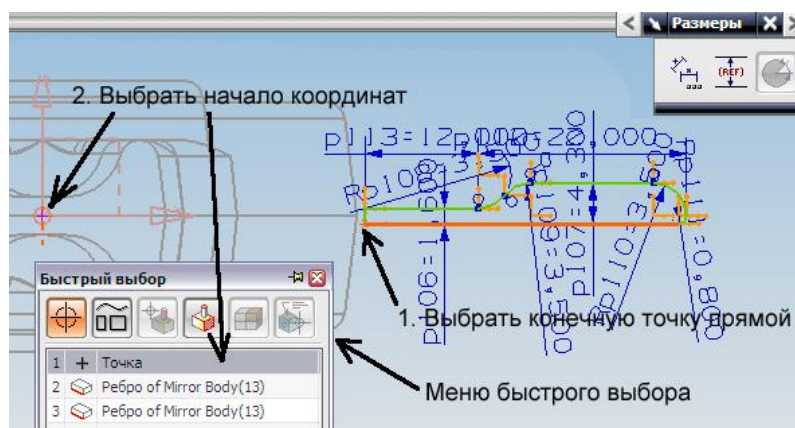


Рисунок 52 – Позиционирование эскиза по вертикали

Для позиционирования эскиза по горизонтали построим вспомогательный объект – точку. В главном меню выбираем *Вставить* → *Точка*, появляется меню «Точка». Указываем способ создания точки – в пункте «Тип» выбираем «Точка на кривой/ребре» (рисунок 53). Как показано на рисунке 53 выбираем кривую, принадлежащую поковке (линия разъема штампа у большой головки шатуна). Нажимаем ОК.

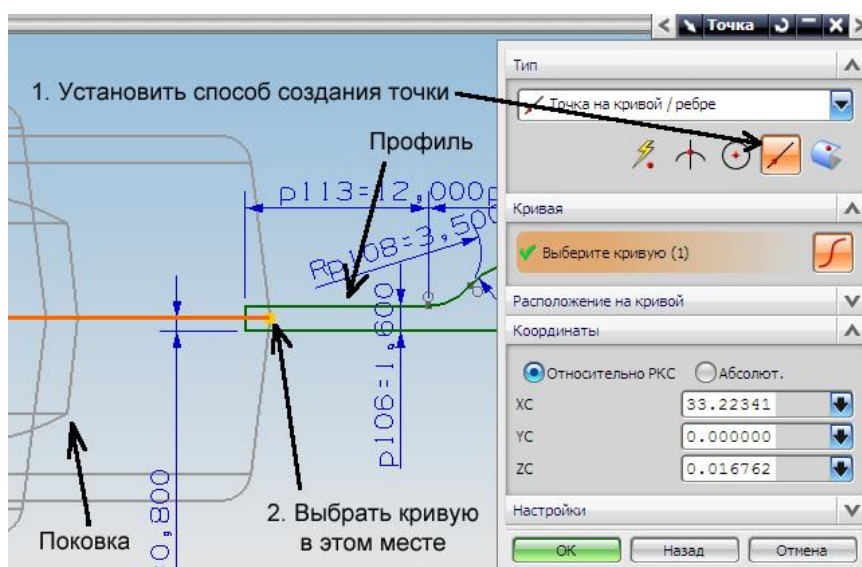


Рисунок 53 – Создание вспомогательной точки

В главном меню выбираем *Вставить* → *Размеры* → *Горизонтально*. Выбираем точки, как это показано на рисунке 54. Появляется горизонтальная размерная надпись, нажимаем ЛКМ, вводим расстояние – 8 мм; жмем клавишу Enter, затем Esc.

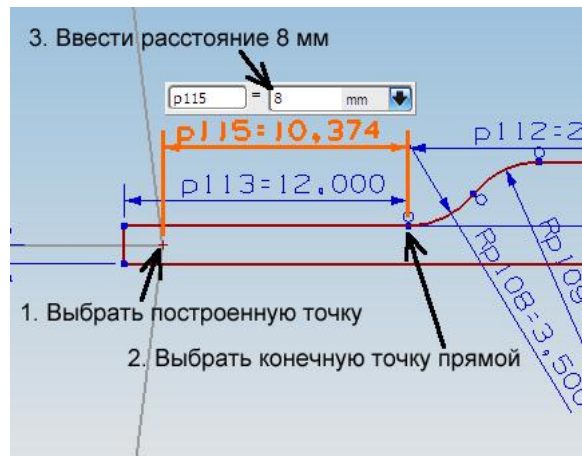
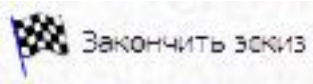



Рисунок 54 – Позиционирование эскиза по горизонтали

После окончания построения эскиза необходимо выйти из режима эскиза – выбрать

иконку  (стр. 14).


### *Создание направляющей*

Для последующей операции необходимо построить еще один вспомогательный объект –

направляющую кривую. Нажимаем иконку  на панели инструментов – заходим в режим создания эскиза (стр. 6). В качестве плоскости для размещения эскиза выбираем плоскость ХУ. Нажимаем ОК. Для удобства дальнейшего построения отобразим эскиз в трехмерном

виде – нажмем иконку  на панели инструментов.

Построим эквидистанту линии разъема штампа (кривая образованная пересечением штамповочных уклонов) – в главном меню выбираем *Вставить* → *Смещение кривой* или

иконку  на панели инструментов. В графе «Расстояние» меню «Кривая смещения» вводим величину смещения – 30 мм. Выбираем линию разъема штампа у большой головки поковки шатуна (рисунок 55), нажимаем ОК. Действуя аналогичным образом, построим эквидистанты остальных кривых линии разъема штампа (2 прямых и дуга, скругления пропускаем). Окончательный вариант изображен на рисунке 56.



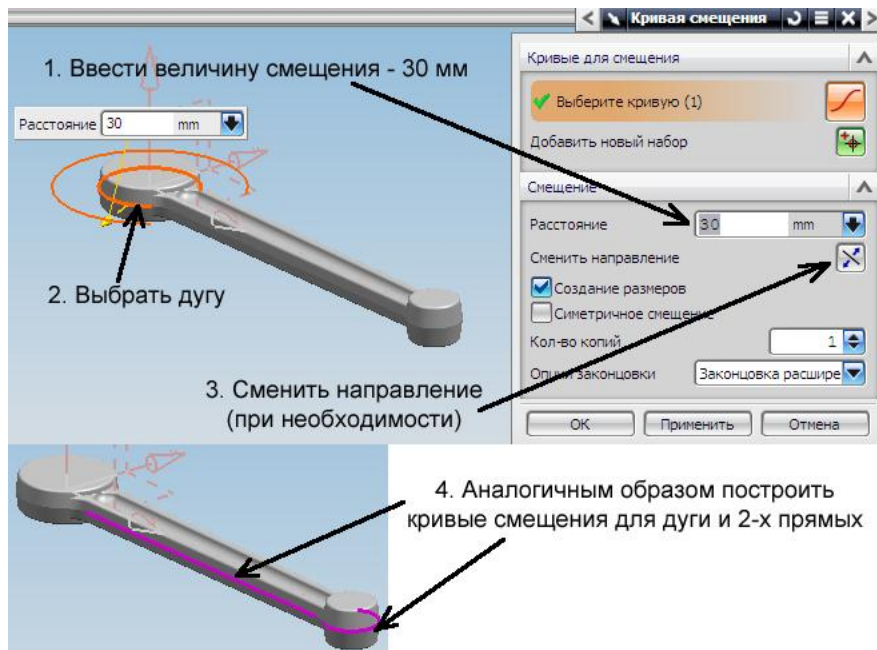




Рисунок 55 – Построение эквидистанты

Увеличим участок направляющей, выделенный черным прямоугольником на рисунке 56

(для ориентации вида по эскизу необходимо нажать иконку  на панели инструментов).

Для этого на панели инструментов нажмем иконку , вид курсора сменится на увеличительную лупу. Наводим курсор на объект, который нужно увеличить, и нажимаем ЛКМ. После чего, не отпуская ЛКМ, перемещаем курсор и выделяем черной рамкой объект. Отпускаем ЛКМ. Нажимаем Esc.

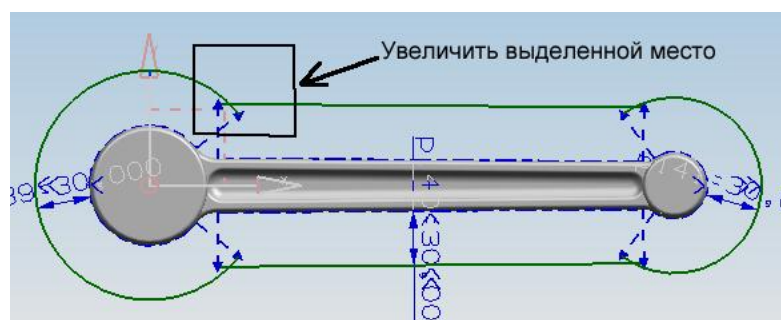




Рисунок 56 – Эквидистанта линии разреза штампа

Обрежем лишние кривые (рисунок 57) – выбираем иконку  на панели инструментов. Наводим курсор на удаляемый участок (становится сиреневым) и нажимаем ЛКМ. После удаления кривых, показанных на рисунке 57, нажимаем Esc. Действуя

аналогично, удалим лишние кривые в остальных местах пересечения прямых с дугами (для отображения эскиза полностью необходимо нажать  на панели инструментов).

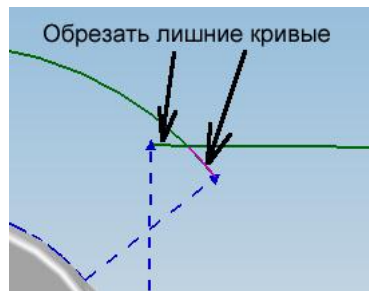



Рисунок 57 – Быстрая обрезка кривых

Построим скругления – в главном меню выбираем *Вставить* → *Скругление* или иконку  на панели инструментов. Как показано на рисунке 58, выбираем сначала большую дугу, а затем прямую. В появившееся меню вводим радиус – 15 мм, нажимаем Enter. Действуя аналогично, скруглим остальные места пресечения дуг и прямых радиусами 10 мм и 15 мм (рисунок 58).

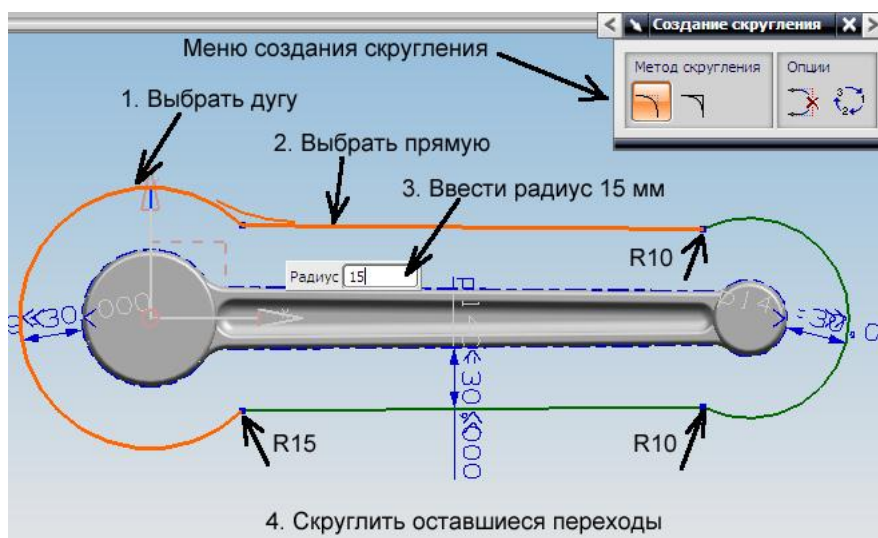




Рисунок 58 – Скругление в эскизе

После окончания построения эскиза необходимо выйти из режима эскиза – выбрать иконку  Закончить эскиз (стр. 14).

### Использование типового элемента проектирования (заметание)

После построения эскиза канавки и направляющей кривой можно перейти к созданию облойной канавки. В главном меню выбираем *Вставить* → *Заметание* → *Заметаемая поверхность* или иконку  на панели инструментов.

На панели выбора в окне «Правило кривой» необходимо установить «Вывод кривых» (по умолчанию стоит «Касательные кривые»). Выбираем эскиз облойной канавки (рисунок 59), а затем необходимо сделать активным пункт «Направляющие» меню «Заметание» – нажимаем «Выберите кривую (0)». Убеждаемся, что в окне «Правило кривой» установлен «Вывод кривых», и выбираем эскиз направляющей. Нажимаем ОК.

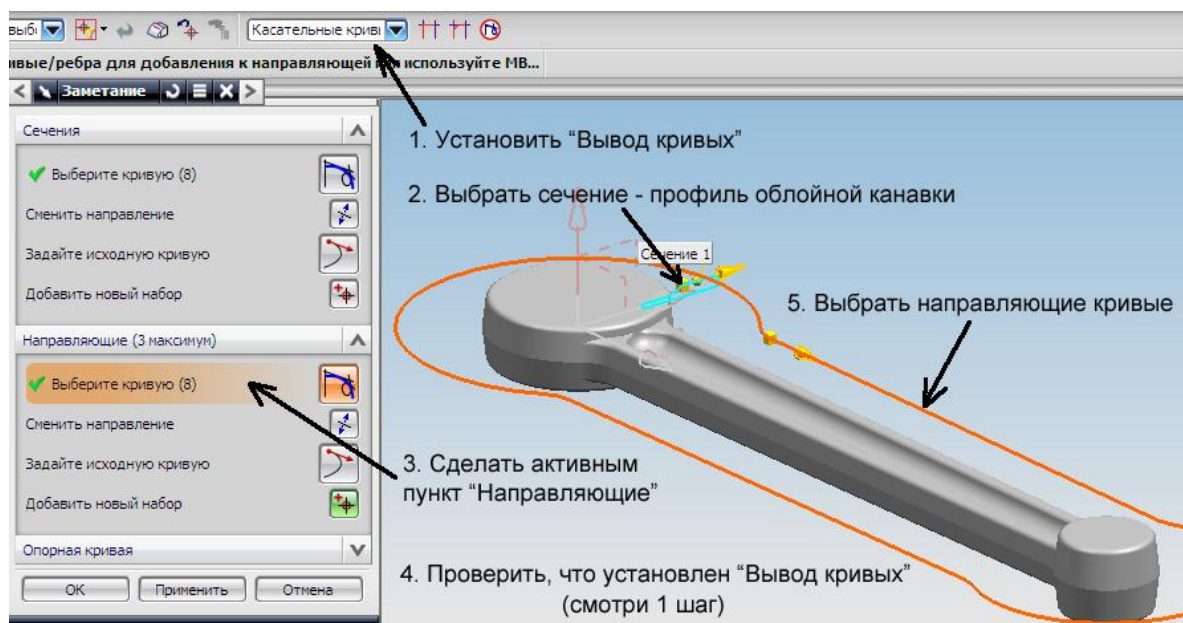



Рисунок 59 – Создание облойной канавки заметанием

Теперь необходимо объединить построенную облойную канавку и поковку в единое тело (ручей). Выбираем иконку  на панели инструментов (стр. 26). Выбираем тело построения – поковку, а затем инструмент – облойную канавку. Нажимаем ОК.

Скруглим место перехода поковки в облойную канавку (рисунок 60) радиусом 1,5 мм (стр. 24).



Рисунок 60 – Скругление ребер

Трехмерная модель чистового ручья изображена на рисунке 61. Сохраним построенную

деталь – выбираем иконку  на панели инструментов.

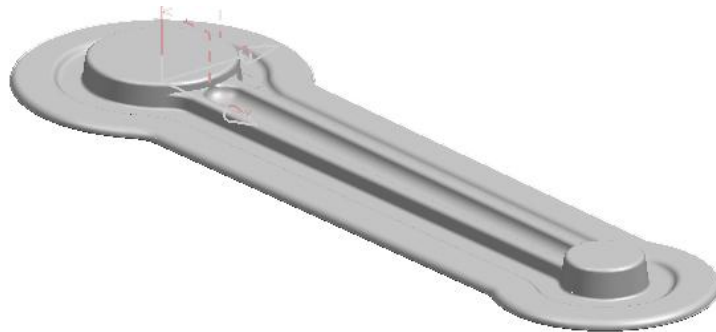


Рисунок 61 – Чистовой ручей

#### *Создание верхней и нижней половин штампа*

Сначала построим нижнюю половину штампа. Откроем файл `rushey.prt` и сохраним его под другим именем (стр. 28) – `shtamp-niz`.

Для моделирования кубика штампа необходимо создать вспомогательную точку – вершину кубика. В главном меню выбираем *Вставить* → *База/точка* → *Точка*. Появляется меню «Точка» (рисунок 62), в пункте «Координаты» которого вводим следующие значения:  $x = -100$  мм,  $y = -100$  мм,  $z = -100$  мм. Нажимаем ОК.

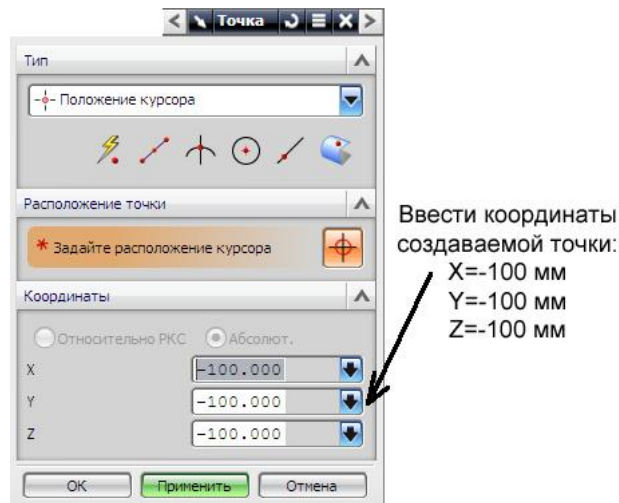


Рисунок 62 – Создание вспомогательной точки

Теперь построим кубик – в главном меню выбираем *Вставить* → *Элементы проектирования* → *Блок*. Выбираем ранее построенную точку и в соответствующие графы меню «Блок» вводим длину – 500 мм, ширину – 200 мм, высоту – 100 мм (рисунок 63). Нажимаем ОК.

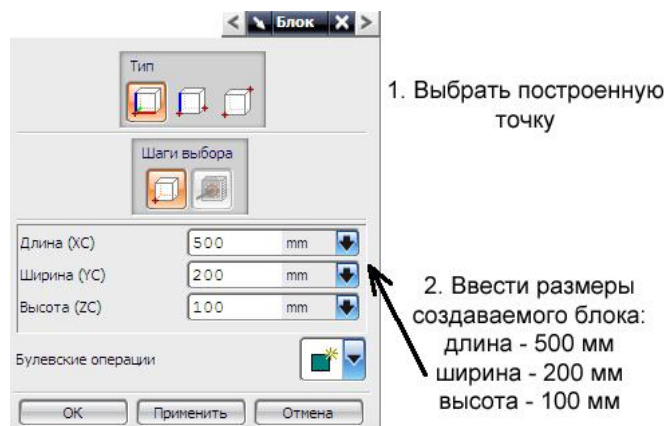



Рисунок 63 – Создание блока

На последнем шаге построения вычтем из созданного блока чистовой ручей. В главном меню выбираем *Вставить* → *Комбинированные тела* → *Вычитание* или иконку  на панели инструментов. Выбираем тело построения (из чего будем вычитать) – блок, а затем инструмент (что будем вычитать) – чистовой ручей (рисунок 64). Нажимаем ОК.



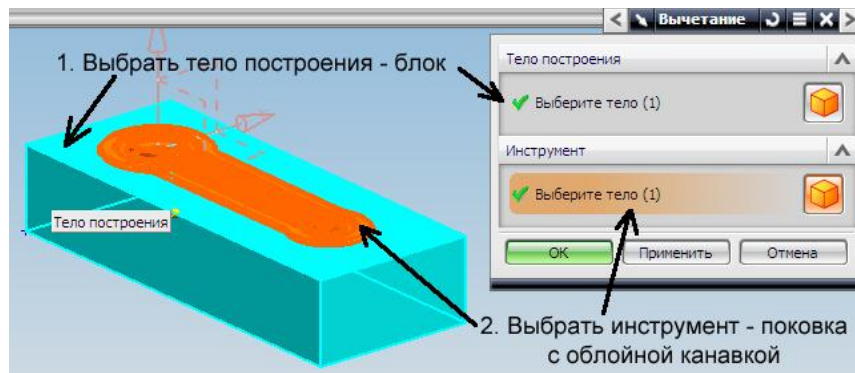


Рисунок 64 – Использование операции «Вычитание»



Сохраним построенную деталь – выбираем иконку на панели инструментов.

Действуя аналогично, построим нижнюю половину штампа. Откроем файл `ruscheu.prt` и сохраним его под другим именем (стр. 28) – `shtamp-verx`. Затем построим точку со следующими координатами:  $x = -100$  мм,  $y = -100$  мм,  $z = 0$  мм. После создадим блок длиной – 500 мм, шириной – 200 мм, высотой – 100 мм. Вычтем из построенного блока чистовой ручей. Сохраним деталь.

Трехмерные модели нижней и верхней половин штампов изображены на рисунке 65.

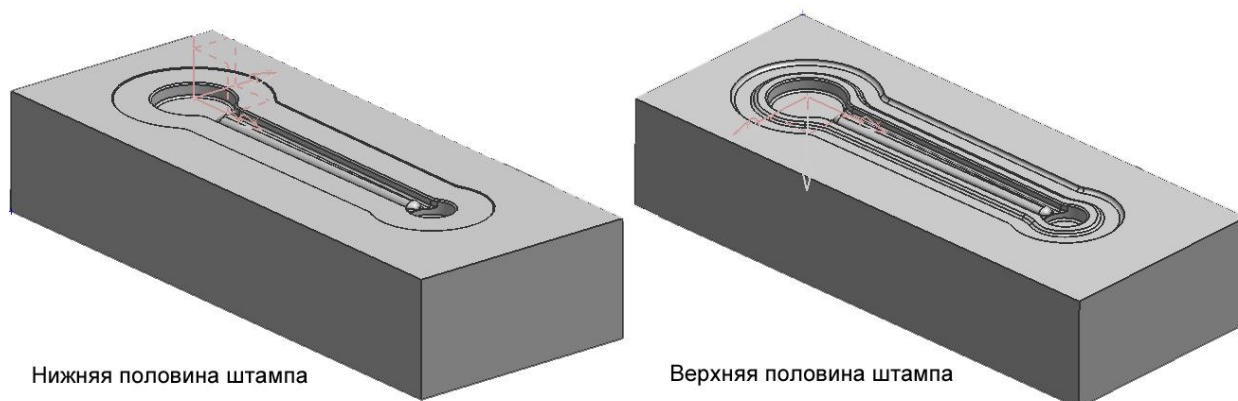


Рисунок 65 – Нижняя и верхняя половина штампа

Приложение А – Технологическая схема изготовления шатуна

Чертеж шатуна	СГАУ		Карта технологического процессаковки и горячей штамповки					25.05.2012		021218.50120.00001			
	Кафедра	Номер операции	Материал	Код	Код единицы массы	Масса детали	Коэффициент использования		Уковка	Расход материала на одну поковку	Статьи расхода	Масса	%
							Материала	поковки			Поковка		
			Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71		кг	0,92	0,34	0,66	1,82		Угар	0,03	1,1
	Исходная заготовка						Единица нормирования	Норма расхода			Облой	0,39	14,23
	Вид	Код	Профиль и размеры	Число деталей	Масса	Число поковок					Выдра	-	-
											Некрат.	0,92	33,57
											Клещевина	-	-
	Прокат		Круг 40; <i>l</i> = 6000 <i>мм</i>	19	59,34	19	1	2,74	2,74		Итого:	2,74	100

Номер		Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
участка	операции										Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	1	Технический контроль: проверить штанги по сертификату	Сертификат			Линейка 1000 ГОСТ 427-75									
	2	Транспортирование: переместить штангу на разрезку		Кран грузоподъемностью 30/5 т											
	3	Разрезка: разрезать штанги на заготовки; $l = (186 \pm 1) \text{ мм}$		Ножницы сортовые усилием 1МН	Ножи диаметром 40 мм	Линейка 1000 ГОСТ 427-75									
	4	Транспортирование: переместить заготовку к нагревательной установке		Кран грузоподъемностью 50/12,5 т											



Номер участка	Номер операции	Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
											Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	5	Нагрев: нагреть заготовки		КИН1 – 150/8		Фото-пирометр			1130±20						
	6	Объемная штамповка: протяжка; подкатка в открытом ручье; штамповать в окончательном ручье		Паровоздушный штамповочный молот двойного действия МВ2140; масса падающих частей 1 т	Штамп молотовой; Кран-манипулятор подвесной				1100-1000						
	7	Транспортирование: переместить поковку на обрезку облоя		Кран грузоподъемностью 30/5 т											

Номер	Наименование и содержание операции		Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
	участка	операции									Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	8	Обрезка: обрезать облой		Пресс двухкривошипный обрезной закрытый модели КА9035. Усилием 3,15 МН	Штамп обрезной; Кран-манипулятор подвесной										
	9	Маркирование (100% -ное): маркировать ударом номер чертежа и номер плавки			Молоток Комплект цифр										
	10	Технический контроль: проверить маркировку и размеры по чертежу поковки выборочно				Линейка 1000 ГОСТ 427-75; штангенциркуль									

Номер участка операции	Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
участка	операции									Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	11	Транспортирование: переместить поковки на предварительную термическую обработку		Кран грузоподъемностью 16/3,2 т										
	12	Предварительная термообработка												
	13	Дробеочистка: очистить поковки от окалины		Барабан дробеметного аппарата										
	14	Правка		Фрикционный штамповочный молот.	Правочный штамп									

Номер участка	Номер операции	Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
											Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	15	Зачистка: зачистить кузнечные дефекты													
	16	Механическая обработка: Сверление отверстий; механическая обработка детали; зачистка кузнечных дефектов		Сверлильный станок; обдирочно-шлифовальный станок Модель – E2X400/1	Сверла; круг шлифовальный										
	17	Окончательная термическая обработка													

Номер участка	Номер операции	Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование	Бойки, штампы, приспособления	Измерительный инструмент	Температура печи, °С	Величина садки	Температура обработки, °С	Время нагрева, мин	Коэффициент штучного времени	Число рабочих	Число одновременно обрабатываемых деталей	Код тарифной ставки	Т <sub>п.з</sub>
											Код профессии	Разряд работы	Единица нормы - рования	Код вида нормы	Т <sub>шт</sub>
	18	Технический контроль ОТК(5%-ный):проверить маркировку, размеры и качество поверхности				Линейка 1000 ГОСТ 427-75; штанген-циркуль									

## Приложение Б. МЦХ шатуна

### Измерение характеристик массы

#### Отображение значения массовых характеристик

Объем	=	122246.725227 mm <sup>3</sup>
Площадь	=	35739.156373 mm <sup>2</sup>
Масса	=	0.957269 kg
Вес	=	9.387615 N
Радиус инерции	=	110.448341 mm
Центроид	=	120.002157, -0.000000, -0.000000 mm

#### Точные характеристики массы

Анализ использует расчетную точность 0.999000

Единицы информации kg - mm

Плотность	=	0.000008
Объем	=	122246.725227
Площадь	=	35739.156373
Масса	=	0.957270

Первые моменты Mx, My, Mz	=	114.874477, -0.000000, -0.000000
------------------------------	---	----------------------------------

Центр масс Xcbar, Ycbar, Zcbar	=	120.002157, -0.000000, -0.000000
-----------------------------------	---	----------------------------------

Моменты инерции (PCK) Ix, Iy, Iz	=	164.116011, 25323.000349, 25438.415757
-------------------------------------	---	--

Момент инерции (центроид) Ixc, Iyc, Izc	=	164.116011, 11537.815301, 11653.230709
--	---	--

Момент инерции (сферический) I	=	11677.581010
-----------------------------------	---	--------------

Центробежные моменты инерции (PCK) Iyz, Ixz, Ixy	=	-0.000005, -0.000000, -0.000000
---	---	---------------------------------

Смешанный момент инерции (центроид) Iyzc, Ixzc, Ixyc	=	-0.000005, 0.000000, -0.000000
---	---	--------------------------------

Радиус вращения (PCK) Rx, Ry, Rz	=	13.093575, 162.644857, 163.015081
-------------------------------------	---	-----------------------------------

Радиус инерции (центроид) Rxc, Ryc, Rzc	=	13.093575, 109.785389, 110.333127
--	---	-----------------------------------

Радиус инерции (сферический) R	=	110.448341
-----------------------------------	---	------------

Принципиальные оси (Вектора направлений относительно PCK) Xp(X), Xp(Y), Xp(Z)	=	0.000000, 0.000000, 1.000000
Yp(X), Yp(Y), Yp(Z)	=	0.000000, 1.000000, 0.000000
Zp(X), Zp(Y), Zp(Z)	=	-1.000000, 0.000000, 0.000000

Главные моменты I1, I2, I3	=	11653.230709, 11537.815301, 164.116011
-------------------------------	---	--

#### Оценки ошибки

Объем	=	3.962781
Площадь	=	0.069886
Масса	=	0.000031

## Приложение В. МЦХ поковки шатуна

### Измерение характеристик массы

Отображение значения массовых характеристик  
 Объем = 175526.665012 mm<sup>3</sup>  
 Площадь = 37617.044951 mm<sup>2</sup>  
 Масса = 1.374485 kg  
 Вес = 13.479108 N  
 Радиус инерции = 116.275857 mm  
 Центроид = 104.743536, 0.000001, 0.000000 mm

### Точные характеристики массы

Анализ использует расчетную точность 0.999000  
 Единицы информации kg - mm

Плотность = 0.000008  
 Объем = 175526.665012  
 Площадь = 37617.044951  
 Масса = 1.374486

Первые моменты  
 Mx, My, Mz = 143.968536, 0.000001, 0.000000

Центр масс  
 Xcbar, Ycbar, Zcbar = 104.743536, 0.000001, 0.000000

Моменты инерции (РСК)  
 Ix, Iy, Iz = 277.230240, 33436.548449, 33612.078856

Момент инерции (центроид)  
 Ixc, Iyc, Izc = 277.230240, 18356.774957, 18532.305364

Момент инерции (сферический)  
 I = 18583.155281

Центробежные моменты инерции (РСК)  
 Iyz, Ixz, Ixy = 0.000002, -0.000000, 0.000031

Смешанный момент инерции (центроид)  
 Iyzc, Ixzc, Ixyc = 0.000002, -0.000000, -0.000047

Радиус вращения (РСК)  
 Rx, Ry, Rz = 14.202020, 155.969809, 156.378667

Радиус инерции (центроид)  
 Rxc, Ryc, Rzc = 14.202020, 115.565449, 116.116662

Радиус инерции (сферический)  
 R = 116.275857

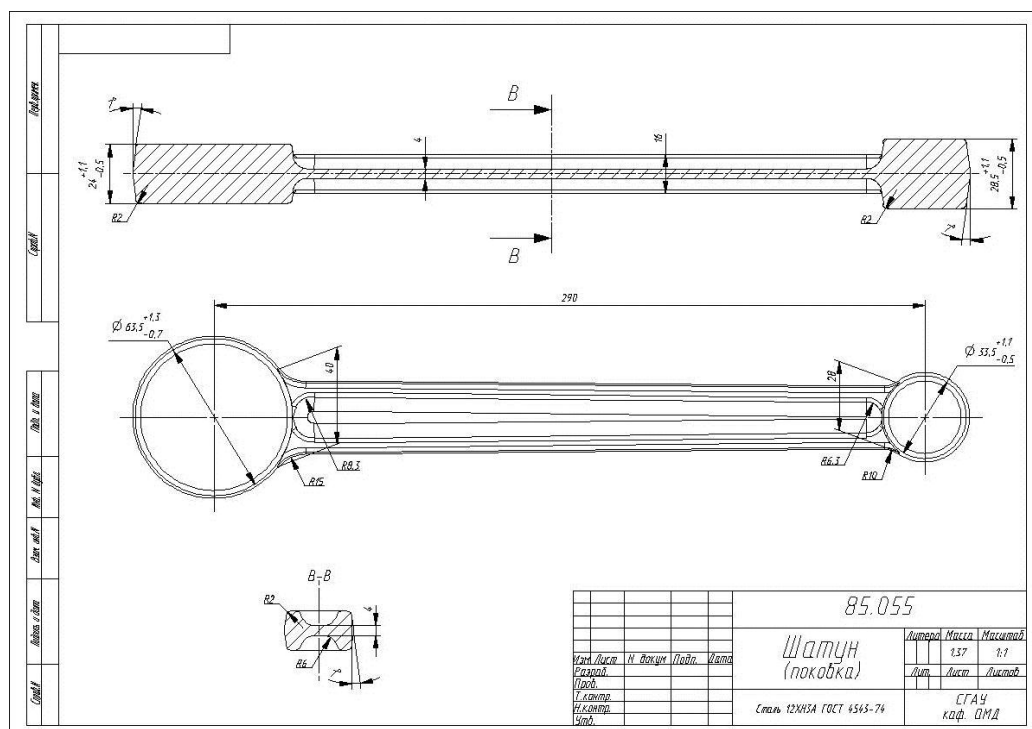
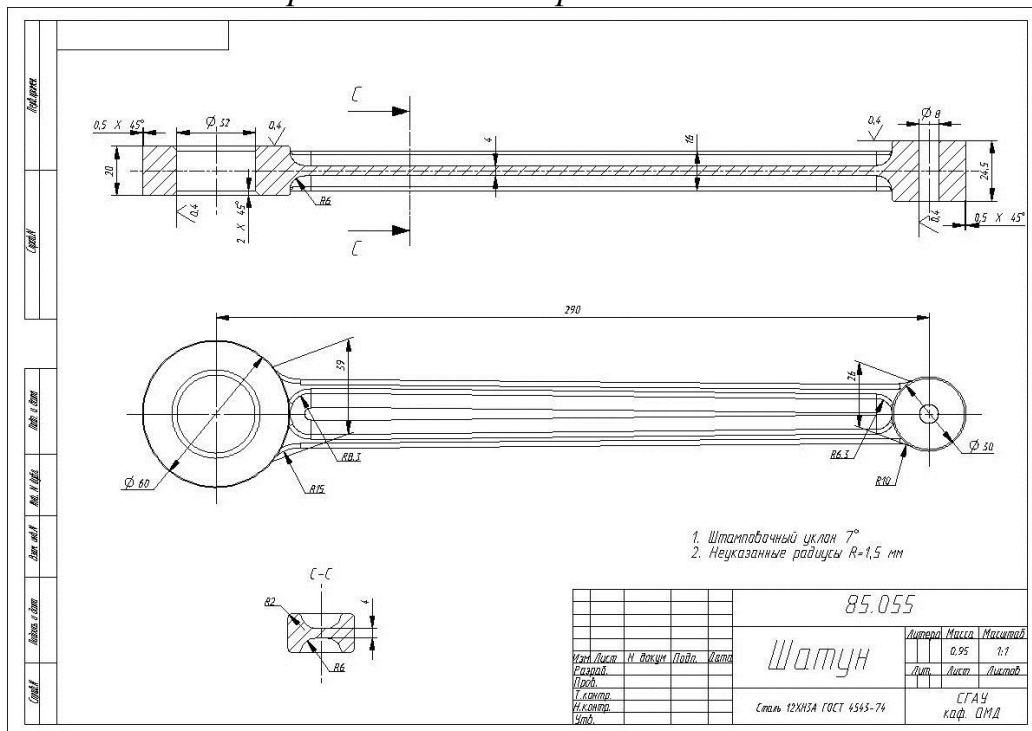
Принципиальные оси (Вектора направлений относительно РСК)  
 Xp(X), Xp(Y), Xp(Z) = 0.000000, 0.000000, 1.000000  
 Yp(X), Yp(Y), Yp(Z) = 0.000000, 1.000000, 0.000000  
 Zp(X), Zp(Y), Zp(Z) = -1.000000, 0.000000, 0.000000

Главные моменты  
 I1, I2, I3 = 18532.305364, 18356.774957, 277.230240

### Оценки ошибки

Объем = 2.226784  
 Площадь = 0.091422  
 Масса = 0.000017  
 Момент инерции (сферический) = 0.004213  
 Центр масс = 0.007617, 0.005791, 0.005791

# Приложение Г. Чертеж детали





## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов [Текст]: учебное пособие для вузов. 3-е изд. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.
2. Марочник сталей и сплавов /Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др.;Под.ред Сорокина В.Г. – М.: Машиностроение, 1989. – 640с.
3. Ковка и штамповка: Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 1986. Т.2: Горячая штамповка. – 592 с.
4. Вербицкий Е.И., Добровольский И.Г. Курсовое проектирование по горячей штамповке: Учебное пособие. – Минск: Высш. школа, 1978. – 208 с.
5. Ковка и штамповка: Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 1985. Т.1: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 568 с.
6. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 52 с.
7. Кузнечно-прессовое оборудование 2003г.[Текст]: номенклатурный каталог: ИКФ «Каталог». – М.: ИКФ «Каталог», 2003. – 106 с.